



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.**

**“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO (ADOQUÍN) DE
1044ML EN LA COMUNIDAD DE CAYANLIPE, MUNICIPIO DE
VILLANUEVA.”**

TESINA PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERO CIVIL.

Elaborado por:

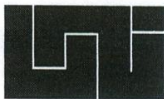
Br. Scarleth Junieth Osorio Peralta.

Br. Sergio Enrique Baca Ortega.

Tutor:

Msc. Ing. Bernardo Calvo Rojas.

Managua, Mayo de 2012.

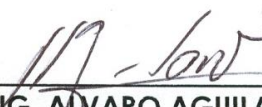


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción hace constar que el (a) **BR: SCARLETH JUNIETH OSORIO PERALTA** Carné No.: **2005-20490** turno diurno, de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico Vigente en la Universidad es **EGRESADA** de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la Ciudad de Managua, a los veinte días del mes de octubre del año dos mil diez.


DR. ING. ALVARO AGUILAR V.
Secretario de Facultad



CC: Archivo

DAAV/iss*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción hace constar que el (a) **BR: SERGIO ENRIQUE BACA ORTEGA** Carné No.: **2005-20134** turno diurno, de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico Vigente en la Universidad es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**.

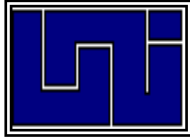
Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la Ciudad de Managua, a los ocho días del mes de Noviembre del año dos mil diez.



DR. ING. ALVARO AGUILAR V.
Secretario de Facultad

CC: Archivo

DAAV/iss*



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
COORDINACIÓN DE NORMATIVAS DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS**

HOJA DE CONCLUSIÓN DE TESINA.

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES:

- 1) SCARLETH JUNIETH OSORIO PERALTA.
- 2) SERGIO ENRIQUE BACA ORTEGA.

NOMBRE DEL CURSO:

CURSO DE TITULACIÓN DE OBRAS VIALES.

NOMBRE DE LA TESINA:

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO (ADOQUÍN) DE 1044ML EN LA COMUNIDAD DE CAYANLIPE, MUNICIPIO DE VILLANUEVA.

ESPECIFIQUE LAS ÁREAS QUE ABORDARÓN EN LA TESINA:

- 1) ESTUDIO DE SUELOS.
- 2) ESTUDIO DE TRÁNSITO.
- 3) DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

FECHA DE DEFENSA:**VALORACIÓN DEL TUTOR SOBRE LA TESINA:****JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA:**

- 1)
- 2)
- 3)

FIRMA COORDINADOR: _____

FIRMA DEL TUTOR.

CC: Archivo.

AGRADECIMIENTO.

A DIOS por ser nuestro creador, dándome a diario la bendición de vivir, estar sana y darme la sabiduría y fortaleza para lograr culminar cada una de las metas propuestas en mi vida.

A mi MAMÁ por ser la madre que cualquiera quisiera tener, por apoyarme en cada uno de los objetivos que me propongo sin importar los sacrificios que se tenían que hacer.

A mis tíos por transmitirme sus conocimientos los que siempre me fueron de gran ayuda en toda mi carrera.

A toda mi familia por apoyarme y estar presente en cada una de las etapas de mi vida.

SCARLETH JUNIETH OSORIO PERALTA.

DEDICATORIA.

Esta Tesina es dedicada primeramente a DIOS nuestro señor que siempre está conmigo dándome su amor y fortaleza.

A mi madre quién es que con su amor y persistencia me ha enseñado la importancia de la vida y el cumplir cada uno de los objetivos a alcanzar.

A mi familia y mi hijo por ser mi presente y futuro en la culminación de mi carrera y cada una de las metas futuras a cumplir.

SCARLETH JUNIETH OSORIO PERALTA.

AGRADECIMIENTO.

A DIOS, fuente de todo conocimiento y sabiduría, por guiar nuestro camino en el campo de las ciencias. Luz y fortaleza de mi vida.

A mi MADRE, razón de ser de mis propósitos, por todos los esfuerzos realizados para poder darme siempre lo mejor.

A mi FAMILIA, núcleo de apoyo incondicional, por llenarme de ánimo y valor en los momentos de más necesidad.

A mis MAESTROS, por transmitir de manera sincera sus conocimientos a las nuevas generaciones.

SERGIO ENRIQUE BACA ORTEGA.

DEDICATORIA.

A nuestro señor JESUS, hijo de Dios, por quién vivimos y dependen nuestros éxitos, pilar fundamental de nuestras vidas.

A mi MADRE, quién cultivó en mí, desde pequeño, el hábito del estudio. Con sacrificio y constancia me ha impulsado a alcanzar las metas propuestas.

A mi FAMILIA, quienes de manera directa han contribuido a mi formación personal y profesional, brindando siempre el apoyo que he requerido.

SERGIO ENRIQUE BACA ORTEGA.

ÍNDICE.

I. INTRODUCCIÓN.	1
II. ANTECEDENTES.	2
III. JUSTIFICACIÓN.	3
IV. OBJETIVOS.	4
IV. 1 Objetivo General.	4
IV. 2 Objetivos Específicos.	4
V. RESUMEN EJECUTIVO.	5
CAPÍTULO I.	6
ESTUDIO GEOTÉCNICO.	6
I. 1 Generalidades.	7
I. 2 Aspectos a Considerar.	7
I. 2.1 Sondeos de Línea.	7
I. 2.2 Especificaciones de los materiales que componen la estructura de Pavimento.	9
I. 2.3 Propiedades de los materiales a lo largo de la vía y en el banco de materiales.	16
CAPÍTULO II.	18
ESTUDIO DE TRÁNSITO.	18
II. 1 Generalidades.	19
II. 2 Volumen de Tránsito.	19
II. 2.1 Composición de Tránsito.	19
II. 2.2 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).	21
II. 3 Proyección de Tránsito.	21
II. 3.1 Período de Diseño.	21
II. 3.2 Tasa de Crecimiento.	22
II. 3.3 Tránsito de Diseño.	25
II. 4 Ejes Equivalentes de Diseño.	26

CAPÍTULO III.	27
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.	27
III. 1 Generalidades.	28
III. 2 Variables de Diseño.	28
III. 2.1 Tránsito Estimado durante el Período de Diseño (W18).	28
III. 2.2 Confiabilidad.	29
III. 2.3 Desviación Estándar (So).	29
III. 2.4 Serviciabilidad (Δ PSI).	30
III. 3 Propiedades de los Materiales.	31
III. 3.1 CBR de Diseño.	31
III. 3.2 Módulo de Resiliencia de la Sub-rasante.	31
III. 3.3 Coeficientes de Drenaje (mi).	31
III. 3.4 Coeficientes Estructurales de las capas.	32
III. 4 Diseño Estructural del Pavimento.	33
III. 5 Determinación de Espesores de las Capas de la Estructura del Pavimento.	35
VI. CONCLUSIONES.	37
VII. RECOMENDACIONES.	39
VIII. BIBLIOGRAFÍA.	41
ANEXOS.	42
MACROLOCALIZACIÓN 1.	43
MACROLOCALIZACIÓN 2.	44
MICROLOCALIZACIÓN.	45
FOTOGRAFÍAS DEL SITIO.	46
FOTOGRAFÍAS DEL SITIO.	47
ANEXOS CAPÍTULO I.	48
ANEXOS CAPÍTULO II.	58
ANEXOS CAPÍTULO III.	71

I. INTRODUCCIÓN.

En el presente documento se describirán los estudios y procedimientos a realizar para el óptimo diseño de la estructura de pavimento con Adoquín de una vía localizada en la comunidad de Cayanlipe en el municipio de Villanueva con una longitud de 1044 ml; utilizando la metodología aprendida a través de los módulos del Curso de Titulación de Obras Viales, particularmente en los campos de: Geotecnia, Tránsito y Diseño de Estructuras de Pavimentos.

El terreno en estudio es prácticamente plano ya que las pendientes encontradas son pequeñas y no se presentan cambios bruscos en la superficie del terreno. Actualmente esta comunidad no cuenta con algún tipo de revestimiento en sus calles lo que dificulta la circulación vehicular desde y hacia este sector, obstruyendo las labores comerciales y de carácter social de la población del lugar; por lo cual se realizará el diseño de la estructura de pavimento según los resultados obtenidos en los estudios antes mencionados.

Una estructura de pavimento es el conjunto de sub-base, base y superficie de rodamiento colocado sobre la sub-rasante, cuya función es la de soportar los esfuerzos que le imponen las cargas directas del tráfico, distribuirlos a la sub-rasante y, a la vez, resistir al desgaste debido a las cargas de los diversos tipos de vehículos que circularan durante su vida útil, así como también debido al deterioro ocasionado por las inclemencias del tiempo y proveer una superficie que permita una circulación cómoda y segura.

II. ANTECEDENTES.

El transporte por carreteras, en el territorio nacional, es el principal medio de circulación de personas y mercancías; su desarrollo data desde los años 40, época en la cual fue creado el Departamento de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas, hoy Ministerio de Transporte e Infraestructura, entonces sólo existían 201 Km de carreteras, 52 Km pavimentadas.

Las décadas intermedias del siglo XX marcaron los inicios a la modernización de la Red Vial, la construcción de la carretera panamericana constituye uno de los principales esfuerzos en este sentido. A partir de este momento se da un crecimiento acelerado de la Red Vial tanto en el aspecto cuantitativo como de su superficie, acompañado de un sinnúmero de innovaciones técnicas y de políticas claras dirigidas al desarrollo de la infraestructura en todas las regiones del país. Con el auge del algodón en la zona del occidente de Nicaragua, en los departamentos de Chinandega y León se inicia el desarrollo en el área de infraestructura vial, sin embargo esto se vio frenado por la inestabilidad en la Guerra de Liberación y posteriormente con la Guerra de Agresión.

Entre las comunidades rurales del departamento de Chinandega, está la comarca Cayanlipe, municipio de Villanueva, con alrededor de 500 familias que se sustentan de la cosecha y lavado de la semilla del Jícara; en un tiempo fue de las zonas más productoras de estos rubros en el occidente, llegando a tenerse planes para la construcción de un centro de acopio regional para exportación a Centroamérica, no obstante, los efectos devastadores del huracán Mitch y del fuerte invierno del 2010 arrasaron con muchas de las vías de acceso a los municipios y comunidades. Actualmente, el gobierno municipal de Villanueva está enfocado en desarrollar un plan de mejoramiento de la red vial en sus comarcas, iniciando con el establecimiento del adecuado sistema de drenaje de sus calles (encunetado) y posterior implementación de su correspondiente estructura de pavimento.

III. JUSTIFICACIÓN.

El camino cuenta actualmente con una superficie de rodamiento de terreno natural, lo que la hace vulnerable a los diversos agentes climatológicos presentes todo el año y principalmente en invierno.

Con la realización de este proyecto se contribuirá a mitigar problemas de perfil social y cultural, así como la insalubridad causada por la acumulación de basura y charcas en las calles; así como a disminuir las demoras ocasionadas por la vía al transporte de personas y cargas, mejorando el nivel de vida de los pobladores de Cayanlipe y usuarios del tramo en estudio.

Este proyecto representa una alternativa de trabajo temporal para la comunidad, ya que la población se integraría a la ejecución del proyecto, además de contribuir al progreso económico de los productores locales ya que en las fincas ubicadas en la zona de influencia de esta ruta se cosechan productos como: ajonjolí, maní, sorgo y algunas verduras como la papa.

IV. OBJETIVOS.

IV. 1 Objetivo General.

- Diseñar la Estructura de Pavimento semi-rígido (Adoquín) de 1044 ml de la comunidad Cayanlipe, Villanueva, Chinandega.

IV. 2 Objetivos Específicos.

- Analizar la composición y características mecánicas del suelo del sitio y en el banco de préstamo localizado cerca del proyecto.
- Realizar el aforo vehicular y análisis de los volúmenes de tránsito en el sitio de estudio.
- Determinar los espesores de las capas de pavimento acorde a los resultados de las dos variables anteriores.
- Utilizar el método AASHTO – 86 para el diseño de los espesores de la estructura de pavimento.

V. RESUMEN EJECUTIVO.

El presente estudio consiste en el diseño estructural de pavimento de adoquín de 1044 ml en la calle principal de la comunidad Cayanlipe, municipio de Villanueva, al norte del Departamento de Chinandega, aplicando los conocimientos obtenidos del Curso de Graduación de Obras Horizontales. Los aspectos a desarrollar en el diseño estructural son los siguientes:

Capítulo I. Estudio Geotécnico: Con el fin de determinar la utilidad del suelo, se realizan sondeos para conocer las características físicas y comportamiento mecánico del material que compone el suelo de la vía y del banco de materiales. De acuerdo a los resultados obtenidos, los materiales que predominan en la capa superficial a lo largo de la línea son del tipo **A-2-4**, a excepción del material encontrado en el penúltimo tramo el cual es A-6. En cuanto al banco de materiales, este presenta material del tipo **A-1-b**.

Capítulo II. Estudio de Tránsito: De aquí se obtienen los principales parámetros que se utilizan para el diseño de la estructura de pavimento, siendo el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de **204** vehículos, obtenido del conteo vehicular realizado. A demás, se considera una tasa de crecimiento vehicular (i) del **3%**, definida tomando consideraciones entre el Producto Interno Bruto, Historial de Tránsito y Crecimiento Poblacional del Sector.

Capítulo III. Diseño de la Estructura de Pavimento: Se proponen los espesores de las capas del pavimento haciendo uso del método de diseño AASHTO-86, dando como resultado una estructura con una capa de rodadura de **4 pulgadas** (espesor estándar del adoquín de concreto) y base de **5pulgadas**, siendo innecesaria estructuralmente la capa de sub-base.

CAPÍTULO I. ESTUDIO GEOTÉCNICO.

I. 1 Generalidades.

Este capítulo describe la estratigrafía y las propiedades del suelo existente en la vía y el banco de materiales cercano al sitio del proyecto, además de los requisitos en cuanto a las propiedades mecánicas de los materiales a utilizar en el diseño de la estructura de pavimento.

Este proyecto es impulsado por la **Alcaldía Municipal de Villanueva**, dónde la realización de los trabajos preliminares de campo y laboratorio para la obtención de la información necesaria de los objetivos propuestos ya se iniciaron.

I. 2 Aspectos a Considerar.

- Sondeos de Línea.
- Especificaciones de los materiales que componen la estructura de Pavimento.
- Propiedades de los materiales a lo largo de la vía y en el banco de materiales.

I. 2.1 Sondeos de Línea.

I. 2.1.1 Trabajos de Campo.

El trabajo de campo consiste en la ejecución de 5 sondeos manuales de 1.00 metros de profundidad y 0.25 m de diámetro, distribuidos a lo largo del camino y de forma alternada al centro e izquierda y derecha de la línea central de la vía para los perfiles estratigráficos, realizándose tres muestras mínimas por sondeo.

Las muestras obtenidas en el campo se identifican debidamente y se trasladan al laboratorio para su correspondiente análisis. El número y localización de los

sondeos es definido por el dueño de la obra (DIRECCIÓN DE PROYECTOS DE LA ALCALDÍA DE VILLANUEVA) sobre la base del tipo de obra a construirse.

I. 2.1.2 Trabajo de Laboratorio.

Las muestras obtenidas en el campo se reagrupan en el laboratorio para realizarle los ensayos básicos necesarios, para tal efecto se utilizan los procedimientos establecidos por las **Normas de la A.A.S.H.T.O y A.S.T.M** siendo los siguientes:

Tabla I. 1 Ensayes realizados a las muestras de suelo.

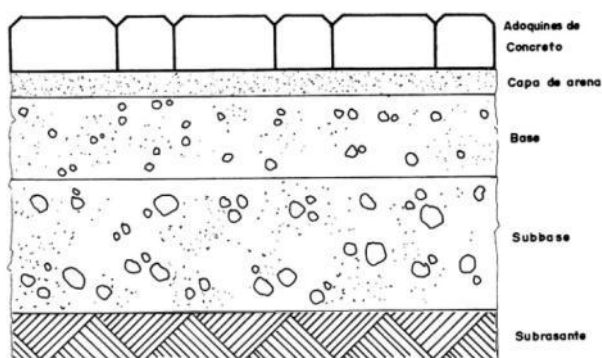
Ensaye.	Especificaciones A.A.S.H.T.O.	Especificaciones A.S.T.M.
Granulometría de los suelos	T-88	D-422
Límite Líquido de los suelos	T-89	D-424
Índice de Plasticidad de los suelos	T-90	D-424
Pesos Unitarios	T-19	D-7263
Ensaye Próctor	T-99	D-698
Ensaye de C.B.R	T-193	D-1883

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

I. 2.2 Especificaciones de los materiales que componen la estructura de Pavimento.

Los materiales que integran la estructura de pavimento, deberán cumplir con los requisitos estipulados en los artículos descritos a continuación de las **Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes - NIC-2000**.

Gráfico I. 1 Estructura Típica de un Pavimento de Adoquines.



Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. – Montejo Fonseca, Alfonso. Pág. 369.

I. 2.2.1 Sub-Rasante.

Es el nivel del terreno sobre el cual se asientan las capas de sub-base, base y carpeta del pavimento. Corresponde al nivel de lo que se conoce como "terracería".

Materiales para Capa Superior del Terraplén (Artículo-1003.24D).

Suministrar un material granular libre de exceso de humedad, lodo, raíces, césped u otros materiales perjudiciales que cumplan con lo siguiente:

- (1) Máxima dimensión.....100 mm.
- (2) Clasificación de Suelo, AASHTO M 145.....A-1 ó A-2-4.

Préstamo No Clasificado (Artículo -1003.24E).

Suministrar material granular libre de exceso de humedad, lodo, raíces, césped, zacate u otros materiales perjudiciales que cumplan con lo siguiente:

- (1) Máxima Dimensión.....600 mm.
- (2) Clasificación del suelo, AASHTO M 145.....A-1, A-3 ó A-2-4.

Préstamo Selecto (Artículo-1003.24F).

Suministrar material granular libre de exceso de humedad, lodo, raíces, césped u otros materiales perjudiciales y cumpla con lo siguiente:

- (1) Graduación.....Tabla I. 2.
- (2) Límite Líquido, AASHTO T 89.....30 máx.

Tabla I. 2 Graduación para Préstamo Selecto.

Tamaño del Tamiz.	Porcentaje en Masa que pasa el Tamiz designado (AASHTO T 27)
75 mm.	100
25 mm.	70-100
4.75 mm.	30-70
150 µm.	0-15

Fuente: NIC-2000. Sección 1003.24 (F).

Material Selecto para Capa Superior del Terraplén (Artículo-1003.24G).

Suministrar material granular libre de exceso de humedad, lodo, raíces, césped u otros materiales perjudiciales y cumpla con lo siguiente:

- (1) Graduación, uniforme de grueso a fino.....Tabla I. 3.

(2) Límite líquido, AASHTO T 89.....30 máx.

Tabla I. 3 Graduación del Material Selecto para Capa Superior del Terraplén.

Tamaño del Tamiz.	Porcentaje en Masa que pasa el Tamiz designado (AASHTO T 27 y T 11)
75 mm.	100
75 µm.	0-15

Fuente: NIC-2000. Sección 1003.24 (G).

I. 2.2.2 Sub-Base.

La capa o capas de material colocado sobre una sub-rasante para soportar la base. Debe soportar los cambios de volumen y elasticidad de la sub-rasante.

La graduación y demás requisitos, después de la colocación y compactación del material según NIC-2000(Sección 1003.23.II(a)), se ajustarán a las siguientes especificaciones:

Gravas.

Tamaño máximo.....75 mm.

Índice de Plasticidad.....15 máx.

Arenas, limo y arena arcillosa.

- % que pasa el tamiz de 2 mm.....95.0 máx.

- % que pasa el tamiz de 0.075 mm.....10.0 mín. - 30.0 máx.

- Índice de Plasticidad.....mín. 5 - 12 máx.

- Límite Líquido.....máx. 35%

Para todos los materiales.

- Coeficiente de uniformidad.....5 mín.

- * Módulo de Plasticidad.....250 máx.

- CBR al 95% de AASHTO Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación.....40% mín.
- 10% de finos (Húmedo).....50 KN mín.

Nota: *Módulo de Plasticidad= Índice de Plasticidad x % de finos que pasa el tamiz de 0.425 mm.

La graduación del material, después de su colocación y compactación, deberá ser una curva suave que esté dentro la envolvente de la Tabla I. 4 y sea aproximadamente paralela a ella:

Tabla I. 4 Graduación de la Grava Natural.

Tamaño del Tamiz (Milímetros)	Porcentaje en peso que pasa.	
	Tipo 1	Tipo 2
75	100	100
37.5	80-100	80-100
20	60-85	75-100
10	45-70	45-90
5	30-55	30-75
2	20-45	20-50
0.425	8-26	8-33
0.075	5-15	5-22

Fuente: NIC-2000. Sección 1003.23. II (a).

I. 2.2.3 Base.

Es la capa colocada sobre la sub-base y por debajo de la superficie de rodamiento para soportar las cargas generadas por el tránsito de la vía, y a la vez transmitir y distribuir los esfuerzos a la sub-base y ésta a la sub-rasante de manera uniforme.

Los requisitos que debe cumplir el material, después de colocado y compactado, según NIC-2000(Sección 1003.23.II (b)), son los siguientes:

Tabla I. 5 Requisitos para Material de Base.

	Tipo 1	Tipo 2
Graduación.	Tabla I. 6	Tabla I. 6
Desgaste, Los Ángeles.	Máx. 50%	Máx. 50%
Valor de Trituración del Agregado (ASTM D 2940-71 T).	Máx. 35%	Máx. 35%
Índice de Plasticidad.	Máx. 10	Máx. 15
Módulo de Plasticidad.	Máx. 200	Máx. 400
CBR al 95% de AASHTO Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación.	Min. 80%	Min. 60%
10% de finos (Húmedo).	Min. 50 KN	Min. 50 KN

Fuente: NIC-2000. Sección 1003.23. II (b).

El Tipo 2 se usa solamente para acabado superficial y cuando los niveles de tráfico no exceden de 300 ejes equivalentes estándar (EE) (8200 Kg) por día.

Tabla I. 6 Requisitos de Graduación de agregados para Base.

Designación del tamiz (mm).	Porcentajes en Peso que pasan por tamices de mallas cuadradas, según AASHTO T 27		
	A	B	C
75	100	-	-
37.5	-	100	-
25	-	-	100
4.75	30-70	30-70	40-80
75 µm	0-15	0-15	5-20

Fuente: NIC-2000. Sección 1003.21.

I. 2.2.4 Superficie de Rodamiento.

La capa superior de la estructura de un pavimento diseñada para resistir la carga del tráfico, de las cuales la capa superior resiste el deslizamiento y desgaste del tráfico y los efectos desintegradores del clima se le conoce como superficie de rodamiento. En este caso se utilizará un pavimento de tipo semi-rígido (Adoquín). El adoquinado comprende cuatro etapas:

- 1) La colocación de los adoquines sobre la superficie preparada.
- 2) El recorte de los adoquines en los bordes de la vía.
- 3) La vibración de toda el área adoquinada.
- 4) Rellenado con arena.

El adoquín a usarse, incluyendo las “cuchillas”, será el denominado TIPO TRÁFICO, cuya resistencia característica a los 28 días no deberá ser menor que los siguientes valores:

Tipo 1 para Tráfico Pesado: 49.0 MPa.

Tipo 2 para Tráfico Liviano: 34.3 MPa.

El adoquín no deberá presentar en su superficie fisuras, cascaduras, cavidades, ni tener materiales extraños tales como piedras, trozos de madera o vidrio, embebidos en su masa. Las aristas deberán ser regulares y la superficie no deberá ser extremadamente rugosa. El tamaño de los adoquines deberá ser uniforme en todo el proyecto, para evitar irregularidades o juntas muy anchas al ser colocados. El tamaño máximo del agregado a usar en el concreto es de 19 milímetros.

El muestreo deberá ser hecho en la planta de fabricación de los adoquines y las pruebas se referirán a la exactitud dimensional, a la uniformidad, a la sanidad de los adoquines tanto como a la resistencia a la compresión. El cálculo de la resistencia característica a la compresión se hará por medio de la desviación estándar de la muestra de los 10 especímenes tomados del lote, cuya fórmula es la siguiente:

$$s = \frac{f_i - f_n}{n - 1}^{2 \ 1/2}$$

Donde:

s = Desviación estándar, en MPa.

f_i = Sucesivamente, la resistencia a la compresión de cada uno de los especímenes (MPa).

f_m = Media aritmética de las resistencias a la compresión de todos los especímenes (MPa).

n = Número de especímenes (10).

I. 2.2.5 Capa de Arena.

La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular y uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso) de limo, arcilla o de ambos. Su graduación será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No. 10. El espesor de esta capa no deberá ser menor de 3 cm ni mayor de 5 cm.

I. 2.2.6 Lecho de Arena.

Sobre la superficie de apoyo se colocará una capa suelta de arena que servirá de lecho a los adoquines. El espesor requerido de arena suelta que se colocará dependerá de su contenido de humedad, graduación y grado de compactación. Dado que la arena no es vibrada sino hasta que los adoquines han sido colocados, el espesor suelto correspondiente al espesor compacto requerido de 3 a 5 cm es determinado por tanteos al comenzar los trabajos. Se deberán hacer frecuentes comprobaciones del nivel de la superficie del adoquinado para asegurarse de que el espesor que se está colocando de arena sin compactar es el correcto.

I. 2.3 Propiedades de los materiales a lo largo de la vía y en el banco de materiales.

I. 2.3.1 Sondeos de Línea.

Los suelos encontrados y analizados con el fin de diseñar los espesores de pavimento están conformados básicamente por varios tipos de suelos de acuerdo al sistema de clasificación del departamento de caminos públicos, conocido como **A.S.T.M.** Los suelos son de origen Cuaternario, el primer estrato presenta suelos de tipo **SM** de origen volcánico, el cual corresponde a una mezcla de arena con limo volcánico, los cuales son productos de mezclas de arenas con limos o cenizas volcánicas que se han depositado por fenómenos aluviales, o traídos al sitio para su estabilización, en los estratos mayores a los

50 centímetros se encuentran suelos transitorios de arenas limosas a arcillas de mediana a alta plasticidad los que se encuentran consolidados y son de los tipos **CL** o arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad producto de las arcillas arrastradas por inundaciones y depósitos orgánicos. La estratigrafía de las calles está plasmada en **Anexos Capítulo I – Gráfico I. 2 Estratigrafía de la Vía.**

I. 2.3.2 Fuente de Materiales.

Están conformados por materiales granulares que se clasifican en el sistema A.A.S.H.T.O. como suelos A-1b-(0) de baja plasticidad ($IP = 3$) y con fracciones finas, el Peso Volumétrico Máximo es de 1982 Kg/m^3 , con una humedad óptima del 14.5%. El resultado del C.B.R. a un 100% compactado tiene valores del 58%. La descripción detallada de los ensayos de los materiales encontrados en el banco de material existente cerca de la ubicación del proyecto se encuentra en **Anexos Capítulo I – Tabla I. 17 Resumen de Banco Hato Grande.**

I. 2.3.2.1 Estabilización de Material de Banco con Cemento.

Para aprovechar el material del banco Hato Grande en la conformación de la base, se requiere de mejorar sus propiedades de soporte, según lo especificado en la Tabla I. 5. Uno de los elementos más ampliamente utilizados en la estabilización de suelos es el cemento, dado que aumenta sus características resistentes.

Los resultados de las combinaciones y mezclas analizadas se presentan en **Anexos Capítulo I – Tabla I. 23 Ensayes de Resistencia a la Ruptura de Materiales.** Siendo el valor de **4%**, el porcentaje óptimo de cemento para la estabilización, dado que cumple con la resistencia mínima requerida de 1800 KN/m^2 ó 19 Kg/cm^2 (NIC – 2000 Sección 1003.23.II.d)

CAPÍTULO II. ESTUDIO DE TRÁNSITO.

II. 1 Generalidades.

Los usuarios de las carreteras, los vehículos que circulan por ellas, las carreteras mismas y los controles que se aplican para normar su operación, son los cuatro elementos básicos que interactúan y se relacionan entre sí para determinar las características del tránsito.

Uno de los factores más importantes a considerar para la determinación de los espesores que componen la estructura de pavimento es el tráfico, su composición y la cantidad de vehículos que circulan por la vía; lo que servirá para establecer las cargas a soportar por el pavimento en el período de vida útil previamente establecido.

II. 2 Volumen de Tránsito.

La medición de los volúmenes del flujo vehicular se obtiene normalmente y a veces de manera sistemática, por medios mecánicos y/o manuales, a través de conteos o aforos volumétricos del tránsito en las propias carreteras, lo mismo que mediante investigaciones de Origen y Destino (O/D) que, dependiendo de la metodología utilizada, arrojarán datos sobre la estructura, distribución, naturaleza, modalidad de los viajes y de las cargas.

II. 2.1 Composición de Tránsito.

Dependiendo del tipo de servicio y la localización de una carretera, es indispensable tomar en debida cuenta que los vehículos pesados, como camiones, autobuses y vehículos recreativos tipo campers, pueden llegar a alcanzar una incidencia significativa en la composición del flujo vehicular, influenciando según su relevancia porcentual, en forma más o menos determinante, el diseño geométrico de las carreteras y los espesores de los pavimentos.

II. 2.1.1 Tipos de Vehículos.

Gráfico II. 1 Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico.

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadracicl, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos coupe y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4x4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con lina en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
VEHICULOS DE CARGA	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
	LIVANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx=4.
	Tx-Sx=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx=4
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semoventes).

Fuente: Revista Anuario de Tráfico 2010, MTI.

II. 2.2 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual, conocido en forma abreviada como TPDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición.

En **Anexos Capítulo II – Tabla II. 4 Conteo Vehicular** se muestran los resultados del conteo vehicular realizado los días lunes, miércoles y domingo como una muestra representativa del comportamiento del tránsito durante una semana típica del año. En **Anexos Capítulo II – Tabla II. 7 TPDA para el Tramo en Estudio** se plasma el resultado del TPDA, siendo de **204** vpd para el año 2011.

II. 3 Proyección de Tránsito.

En el diseño de cualquier vía la proyección del tránsito es uno de los factores más importantes ya que dependiendo del crecimiento y composición del tráfico se determinarán datos claves para el cálculo de la estructura, es por tal razón que se debe analizar con sumo cuidado cada uno de los aspectos que se considera para la proyección vehicular de esta vía.

II. 3.1 Período de Diseño.

Es el tiempo proyectado en años durante el cual la estructura de pavimento diseñada deberá prestar un servicio de calidad que cumpla con las normas establecidas, dando lugar a la circulación vehicular factible.

Según **Anexos Capítulo II – Tabla II. 8 Períodos de Diseño** esta vía está clasificada como colectora rural es decir un período de 10 a 20 años. Para efectos de diseño se propone utilizar un período de 15 años.

II. 3.2 Tasa de Crecimiento.

La tasa de crecimiento a utilizar para la proyección del tránsito no es un valor fácil de estimar ya que dependerá de diversos factores que determinarán el incremento vehicular que podrá tener el sector que utilizará la vía, entre los parámetros a estimar se tienen:

II. 3.2.1 Crecimiento Anual de Vehículos.

Los datos que a continuación se muestran en la Tabla II. 1 son los registros de la Estación de Control Permanente 2400 (Chinandega – Ranchería) del Sistema de Administración de Pavimentos (SAP) del MTI publicado en la Revista Anuario de Aforos de Tráfico Año 2010, Pág. No 68.

Tabla II. 1 Crecimiento Anual de Vehículos.

Año	TPDA (vpd)
2006	1,489
2007	1,649
2008	1,826
2009	1,863
2010	2,831

FUENTE: REVISTA ANUARIO DE AFOROS DE TRÁFICO AÑO 2010.

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA (MTI).

II. 3.2.2 Producto Interno Bruto (PIB).

Uno de los indicadores macroeconómicos más determinantes en el desarrollo del TPDA de un determinado país es el Producto Interno Bruto (PIB), que de cierta forma indica el poder adquisitivo de las personas. Según el Banco Central de Nicaragua, el PIB ha tenido un comportamiento variable en el último quinquenio, teniendo un promedio de tasa de crecimiento de 2.72%.

Tabla II. 2 Producto Interno Bruto (PIB).

Año	PIB(Millones de Córdobas)	Crecimiento PIB (%)
2006	32,936.9	4.2
2007	34,136.9	3.6
2008	35,078.8	2.8
2009	34,563.4	-1.5
2010	36,112.0	4.5
Tasa Promedio PIB	34,565.4	2.72

FUENTE: ANUARIO DE ESTADÍSTICAS MACROECONÓMICAS 2010.

BANCO CENTRAL DE NICARAGUA (BCN).

II. 3.2.3 Crecimiento Poblacional.

Según el crecimiento poblacional se puede estimar el aumento del número de viajes de vehículos de pasajeros de cada país, región o zona en específico, sin embargo no necesariamente a mayor población habrá un mayor número de vehículos livianos.

Según el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), en su publicación “Proyección Poblacional 2007” con datos correspondientes al VIII Censo de Población y IV de Vivienda, realizado del 28 de mayo al 11 de junio de 2005, la tasa de crecimiento poblacional para el municipio de Villanueva es de 0.40% en el período 2005-2010.

Tabla II. 3 Crecimiento Poblacional.

Año	Población (Hab.)	Tasa de Crecimiento (%)
2006	27,223	0.40
2007	27,344	0.40
2008	27,462	0.40
2009	27,565	0.40
2010	27,672	0.40

FUENTE: ESTIMACIONES Y PROYECCIONES DE POBLACIÓN NACIONAL, DEPARTAMENTAL Y MUNICIPAL REVISIÓN 2007 DEL INSTITUTO NACIONAL DE INFORMACIÓN DE DESARROLLO (INIDE).

Analizando y correlacionando cada uno de los parámetros que se mencionaron anteriormente, se utilizará un valor de **3%** como **Tasa de Crecimiento de Vehículos** que brindará la seguridad que la vía cumplirá a cabalidad con los requisitos para circulación segura y confiable de los vehículos durante todo el período de diseño; tomando como dato clave los resultados al correlacionar el TPDA de la estación permanente con el PIB, demuestra que la confiabilidad de los datos es aceptable y además que el comportamiento económico de la localidad es un factor clave para el crecimiento vehicular. La correlación de estas

variables se encuentra en **Anexos Capítulo II – Tabla II. 16 Correlación PIB vs TPDA** en adelante.

II. 3.3 Tránsito de Diseño.

Tránsito de Diseño es el número de vehículos estimados que circularán anualmente por esta vía en el año final del período de diseño, se determinará mediante la fórmula:

$$T_D = T_0 * F_C * F_D * f'_C$$

Donde:

TD: Tránsito de Diseño.

To: Tránsito Inicial.

Fc: Factor de Crecimiento.

$$F_C = 365 * \frac{1 + i^n - 1}{i}$$

n: Período en años.

i: Tasa de crecimiento vehicular.

Fd: Factor Direccional.

Anexos Capítulo II – Tabla II. 9 Factor de Distribución por Dirección.

f'c: Factor Carril.

Anexos Capítulo II – Tabla II. 10 Factor de Distribución por Carril.

Siendo el tránsito inicial el correspondiente al año base del proyecto, año 2012.

El resultado de los cálculos para Tránsito de Diseño, se puede consultar en **Anexos Capítulo II – Tabla II. 12 Tránsito de Diseño.**

II. 4 Ejes Equivalentes de Diseño.

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil.

Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferentes peso y número de ejes y, que para efectos de cálculo, se les transforma en un número de ejes equivalentes de 18 Kips, por lo que se les denomina “Equivalent Simple Axial Load” o “ESAL”.

Para realizar el cálculo del ESAL's de diseño, es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularán por la vía durante el período de diseño y el factor de equivalencia de carga. Para conocer dicho se considera una serviciabilidad final $P_t = 2.0$ (valor recomendado para caminos de tránsito menor) y un coeficiente estructural $SN = 5$. Ver **Anexos Capítulo II – Tabla II. 13 Factores de Equivalencia de Carga.** En este trabajo, el Total de Ejes Equivalentes corresponde a **387,146.7524** unidades. Ver **Anexos Capítulo II – Tabla II. 15 ESAL's de Diseño.**

CAPÍTULO III. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

III. 1 Generalidades.

El diseño de la estructura de pavimento, consiste en determinar los espesores de la estructura, así como las características de las diversas capas de tal forma que cumplan las condiciones básicas que son: Las deformaciones por tracción, producidas en las fibras interiores de las capas, y las deformaciones verticales por compresión en la parte superior de la sub-rasante, donde estos resultados no superen los valores admisibles.

El pavimento propuesto en este estudio está compuesto por una capa de rodadura de adoquines, base y sub-base granulares, empleando el método más utilizado en Nicaragua para el diseño de la estructura de pavimento flexible como es el AASHTO-86, el cual aplica también en superficies de adoquín.

Con este método se trabaja en base al número estructural SN, el cuál es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación dada de soporte del suelo (MR), del tránsito total ESAL, de la serviciabilidad y de las condiciones ambientales.

III. 2 Variables de Diseño.

Para la determinación de la estructura de pavimento utilizando el método de la AASHTO-86 se requiere la siguiente información:

III. 2.1 Tránsito Estimado durante el Período de Diseño (W18).

El método se basa en el número de ejes equivalentes a un eje estándar de 18 kips, en el carril de diseño (W18). Los datos de tránsito promedio diario anual (TPDA) y porcentaje de distribución de cada tipo de vehículo en función del último informe de tránsito emitido por el MTI sin incluir motocicletas.

Esta variable se refiere al número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips o ESAL's. Una carga estándar para el diseño de pavimento flexible de carreteras y calles es el eje simple de 8.2 Toneladas (18 kips). El efecto de cargas distintas a ésta se tiene en cuenta para el diseño aplicando los llamados factores de equivalencia de carga por eje, los cuales se obtienen en las tablas de la AASHTO.

Estos datos fueron analizados y determinados en el Capítulo II.

III. 2.2 Confiabilidad.

Es un factor de seguridad que se emplea en el diseño de un pavimento, depende de diversos factores, entre ellos la calidad del estudio de tránsito realizado, la calidad de los materiales, calidad de los estudios de muestreos de suelos y calidad del trabajo de construcción, lo que guiará a clasificar de manera funcional la carretera y a la vez el nivel de confiabilidad que presentará esta vía.

El factor de confiabilidad de diseño tiene en cuenta variaciones al azar tanto en la predicción del tránsito como en la predicción del comportamiento de la vía durante el período de diseño.

En este caso el camino de estudio se clasificó como una colectora rural, y se tomará una confiabilidad de **75%**. Ver **Anexos Capítulo III – Tabla III. 3 Niveles de Confiabilidad.**

III. 2.3 Desviación Estándar (So).

Los valores de So que se muestran en **Anexos Capítulo III – Tabla III.4 Desviación Estándar** están directamente ligados al nivel de confiabilidad elegido para la vía.

Dado que los valores desarrollado en el AASHTO no incluyeron error por el tránsito, el método recomienda para pavimento flexibles una desviación estándar entre el rango 0.4 a 0.5, por tal razón se usará un coeficiente de **So** igual a **0.44** un valor promedio del rango recomendado.

III. 2.4 Serviciabilidad (Δ PSI).

La serviciabilidad es la capacidad del pavimento que tiene para servir al tipo y volumen de tránsito para el que fue diseñado. Este índice se clasifica entre 0 (malas condiciones) y 5 (excelente condiciones).

El método de AASHTO – 86, toma en cuenta un porcentaje de pérdida de serviciabilidad (Δ PSI) para varios niveles de tránsito y cargas de ejes, entre mayor sea el Δ PSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar.

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t$$

Po: Serviciabilidad inicial, es la condición inmediata después de la construcción.

Pt: Serviciabilidad final, es la condición final que tendrá en pavimento antes de fallar.

Para el diseño de pavimentos debe asumirse tanto Po como Pt, los valores que recomienda la ASSTHO son:

Po: 4.5 (pavimentos rígidos), **4.2** (pavimentos flexibles);

Pt: 2.5 ó más (camino principales) y **2.0 o más** (para caminos de tránsito menor).

Se tomará un valor de Po=4.2 y Pt = 2.0, para una carretera de pavimento flexible y tránsito menor, por lo tanto **Δ PSI = 2.2**.

III. 3 Propiedades de los Materiales.

Cada una de las capas que conforman la estructura de pavimentos posee las siguientes propiedades:

III. 3.1 CBR de Diseño.

Se determina el CBR de diseño a través del método según AASHTO para la sub-rasante el cual obtiene un resultado de **6.25%** (**Anexos Capítulo III – Gráfico III. 1 CBR de Diseño**), que según la tabla **Anexos Capítulo III – Tabla III. 5 Valor Percentil de Resistencia de Diseño**, el valor de CBR obtenido representa el 75% de los valores acumulados muestreados a lo largo de la vía.

III. 3.2 Módulo de Resiliencia de la Sub-rasante.

Para la caracterización de los materiales de la sub-rasante en este método es el MR. Existe una correlación sugerida para suelos con CBR sumergido no mayor de 10%:

$$MR (Psi) = 1500 * CBR$$

Por lo tanto:

$$MR = 1500 * 6.25 = \mathbf{9,375 \text{ psi.}}$$

III. 3.3 Coeficientes de Drenaje (mi).

El drenaje de agua en los pavimentos es un aspecto importante a considerar en el diseño de las carreteras. De lo contrario el exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas podrían anticipar los daños a la estructura del pavimento.

La calidad del drenaje está expresado en la fórmula del número estructural como (mi), éste coeficiente depende de la capacidad que tiene el material para drenar el agua y del tiempo que pasa expuesto a la saturación.

En este caso se considera **mi=1** dado que se asume excelente capacidad para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman el pavimento.

III. 3.4 Coeficientes Estructurales de las capas.

En el método AASHTO – 86 se asigna un coeficiente (a_i) a cada capa que conforma la estructura de pavimento los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de pavimento flexible. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura de pavimento.

III. 3.4.1 Coeficiente estructural de la capa de rodadura (Adoquín Concreto) a_1 .

Para el adoquín de concreto, según el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos (SIECA), recomienda usar un coeficiente estructural **0.45**.

III. 3.4.2 Coeficiente estructural para la base granular a_2 .

El material a utilizar para la base será el del Banco de materiales Hato Grande estabilizado con 4% de cemento analizado según laboratorio. Los resultados de este material indica un valor de resistencia a la compresión simple de 291.96 psi a los 7 días de curado, dando como resultado un **$a_2 = 0.14$ y $M_r = 5.6 * 10^5$ psi** **(Anexos Capítulo III – Gráfico III. 2 Coeficiente Estructural de Capa Base Estabilizada).**

III. 3.4.3 Coeficiente estructural para sub-base a_3 .

El material a utilizar para la sub-base será el del Banco de materiales Hato Grande analizados en el laboratorio. Según los resultados de este material tiene un CBR= 58% que da como resultado un $a_3 = 0.13$ y $Mr = 18 \times 10^3$ psi (**Anexos Capítulo III – Gráfico III. 3 Coeficiente Estructural de Capa Sub-Base Granular**).

III. 4 Diseño Estructural del Pavimento.

Con el método de la AASHTO – 86 se puede utilizar la siguiente ecuación que es aplicable para vías con un tránsito superior a 0.05×10^6 ejes equivalentes de 8.2 toneladas para pavimento flexibles, esta fórmula es derivada de la información obtenida empíricamente por la AASHTO Road Test:

$$\log_{10} W_{18} = Z_r S_0 + 9.36 \log SN + 1 - 0.20 + \frac{\log_{10} \frac{\Delta PSI}{4.2-1.50}}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} Mr - 8.07$$

Donde:

W_{18} = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18Kips (80KN) calculadas conforme al tránsito vehicular.

Z_r = Valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R. (AASHTO – 86 Pág. I.62 Tabla 4.1).

Para una confiabilidad R = 75%, $Z_r = -0.674$.

S_0 = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad.

Mr = Módulo de Resiliencia de la sub-rasante.

SN = Número Estructural, que expresa la resistencia estructural que requiere una capa de pavimento.

Otra manera de calcular el SN requerido es con la ayuda del nomograma que se presenta en **Anexos Capítulo III – Gráfico III. 4 Nomograma de Diseño para Estructuras de Pavimento Flexible.**

Una vez obtenido el SN se calculan los espesores de las capas a partir de la siguiente fórmula:

$$SN = a_i * D_i * m_i + a_{i+1} * D_{i+1} * m_{i+1} + a_{i+2} * D_{i+2} * m_{i+2}$$

Donde:

a_i = coeficiente estructural de la capa i, el cual depende de las características del material con que ella se construya.

D_i = Espesor de la capa i en pulgadas.

m_i = Coeficiente de drenaje en la capa i.

$$SN_1 = 0.23$$

$$SN_2 = 1.89$$

$$SN_3 = 2.40$$

$$SN_1 = a_1 * D_1 * m_1$$

Siendo $a_1 = 0.45$, $D_1 = 4$ pulgadas y $m_1 = 1$ $SN_1^* = 1.80 > SN_1 = 0.23$ O.K.!

$$SN_2 = a_1 * D_1 * m_1 + a_2 * D_2 * m_2$$

$$SN_2 = SN_1^* + a_2 * D_2 * m_2 \quad D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m_2} \quad D_2 = \frac{1.89 - 1.80}{0.14 * 1}$$

$$D_2 = 0.64 \text{ pulgadas.}$$

Dado el espesor mínimo para Base estabilizada en el rango 150,001 < 500,000 ejes equivalentes, el menor espesor recomendado es 4 pulgadas, utilizando 5 pulgadas.

$$SN_2^* = 0.14 * 5 * 1$$

$$SN_2^* = 0.70$$

$$SN_1^* + SN_2^* = 1.80 + 0.70 = 2.50 > SN_2 = 1.89 \quad O.K.!$$

$$SN_3 = a_1 * D_1 * m_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

$$D_3 = \frac{SN_3 - SN_2^* - SN_1^*}{a_3 * m_3}$$

$$D_3 = \frac{2.40 - 0.70 - 1.80}{0.13 * 1}$$

$$D_3^* = -0.77 \text{ pulgadas.}$$

*El valor negativo indica que NO es necesaria esta capa estructural (Sub-Base).

III. 5 Determinación de Espesores de las Capas de la Estructura del Pavimento.

Los espesores obtenidos se presentan en la Tabla III. 1, los cuales serán comparados con los espesores mínimos sugeridos por AASHTO en **Anexos Capítulo III – Tabla III.7 Espesores Mínimos.**

Tabla III. 1 Espesores de la Estructura de Pavimento.

Capa	Espesor	
	Pulgadas	Centímetros
Capa de Rodamiento.	4	10
*Lecho de Arena.	2	5
Base.	5	12.5
**Sub base.	-	-

Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

* Se considera sin aporte estructural.

** No es estructuralmente necesario.

En el diseño de la estructura se debe tomar en cuenta que el espesor de la carpeta de rodamiento está predeterminado por ser conformada por adoquines de concreto (4 pulgadas).

Alternativamente, se calculan los valores de los espesores de las capas de la estructura de pavimento empleando el programa “Pavement Design & Analysis Life – Cycle Cost Analysis” creado por Thomas P. Harman, M.S. C.E. Versión 3.3 (Copyright 1988).

El programa sólo requiere la introducción de los siguientes datos:

Tabla III. 2 Parámetros de Diseño con programa “Pavement Analysis Software”.

Variables de Diseño.	Valor.
ESAL's de Diseño (W18).	387,146.7524
Confiabilidad (R).	75%
Desviación Estándar (So).	0.44
Módulo Resiliente de la Sub-Rasante (MR).	9,375 psi
Serviciabilidad Inicial (Po).	4.2
Serviciabilidad Final (Pt).	2.0

Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

En **Anexos Capítulo III – Gráfico III. 5 Procedimiento en el Uso del Software** se muestra paso a paso los procedimientos a seguir para la obtención de los espesores haciendo uso del programa de diseño.

VI. CONCLUSIONES.

Al estudiar y analizar los resultados obtenidos en el presente trabajo, que consiste en la propuesta del diseño de estructura de pavimento con superficie de adoquín, se concluye lo siguiente:

- El suelo predominante en la capa superficial del eje de la vía es de tipo A-2-4, el cual corresponde a una mezcla de arena con limos, indicativo de que se ha realizado previamente algún tipo de mantenimiento superficial con material selecto. Son suelos poco plásticos y cumple con las normas especificadas en el Artículo-1003.24D de NIC-2000 para ser utilizados como material de sub-rasante, sin embargo entre los estacionamientos 0+520 y 0+920 se encuentra un material del tipo A-6 (1) el cual no es apto para su uso por ser muy inestable y con poca capacidad de soporte.
- En el banco de material, los suelos encontrados corresponden al tipo A-1-b, material no plástico con valores de C.B.R. de 55% y 58% para una compactación del 100% Próctor Estándar; al comparar con la normativa NIC-2000, se encuentra que para la capa base, el valor mínimo de CBR es 80% para una compactación al 95% Próctor modificado. Este material es conveniente para reemplazar el material inestable en la vía, sin embargo es necesaria su estabilización para su aprovechamiento en la capa base, siendo el 4% de cemento la cantidad óptima para la mezcla suelo-cemento, resultando 20.57 kg/cm² de resistencia a la compresión.
- El tránsito que circula por el terreno es bajo siendo 204 vpd para el año en que se realizó el conteo vehicular, compuesto de 43.12% de vehículos de pasajeros y 56.88% de carga, con una tasa de crecimiento de 3% anual, dado los indicadores de población, registro histórico de circulación vehicular y variables económicas, siendo el número de ejes equivalentes que transitarán durante los 15 años de período de diseño de 387,146.7524 ejes.

- La estructura de pavimento queda compuesta por una capa de rodadura de adoquín de concreto, siendo ésta de espesor estándar de 4 pulgadas (10 centímetros), una cama de arena de 2 pulgadas (5 centímetros) y una capa base de material estabilizado suelo-cemento de 5 pulgadas (12.5 centímetros). La capa de sub-base resulta innecesaria ya que con las capas anteriores se supera el número estructural requerido de 2.40.
- Con la utilización del software “Pavement Design & Analysis Life – Cycle Cost Analysis” se obtienen resultados equivalentes a los conseguidos de manera manual, por consiguiente se concluye que los cálculos son correctos y satisfactorios para el diseño propuesto.

VII. RECOMENDACIONES.

En base a la experiencia obtenida a través de la elaboración del presente trabajo, se especifican algunas recomendaciones relacionadas con el diseño del pavimento:

- Existen materiales de muy buena calidad en los estratos superficiales en la mayor parte del camino, suelo granular con pocas partículas de finos, los que se recomiendan en su utilización como material de Subrasante.
- Entre los estacionamientos 0+520 y 0+920 se recomienda reemplazar el material inestable o combinarlo con material proveniente del Banco Hato Grande o cemento para lograr el mejoramiento de sus propiedades (estabilización).
- Se recomienda estabilizar con 4% de cemento el material del banco para su utilización como capa base.
- Al momento de iniciar los trabajos de movimiento de tierra, se recomienda escarificar la sub-rasante para su debida compactación y nivelación.
- Realizar pruebas de densidad para determinar si se está alcanzando el grado especificado al momento de la compactación.
- Constatar que los adoquines y arena a emplearse cumplan con las especificaciones de calidad y resistencia expuestas en las normas AASHTO y en el presente documento.
- Colocar el adoquín de manera transversal a la dirección del tránsito para evitar el anticipado desprendimiento de los adoquines.

- Efectuar una debida supervisión durante el período de construcción, principalmente en la estabilización de los materiales y en el cumplimiento de los espesores de diseño de las capas estructurales.

- Realizar conteos de tráfico de manera regular para verificar los volúmenes de tránsito y anticipar un mejoramiento a la vía en caso de que se aumente la circulación vehicular en años futuros.

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

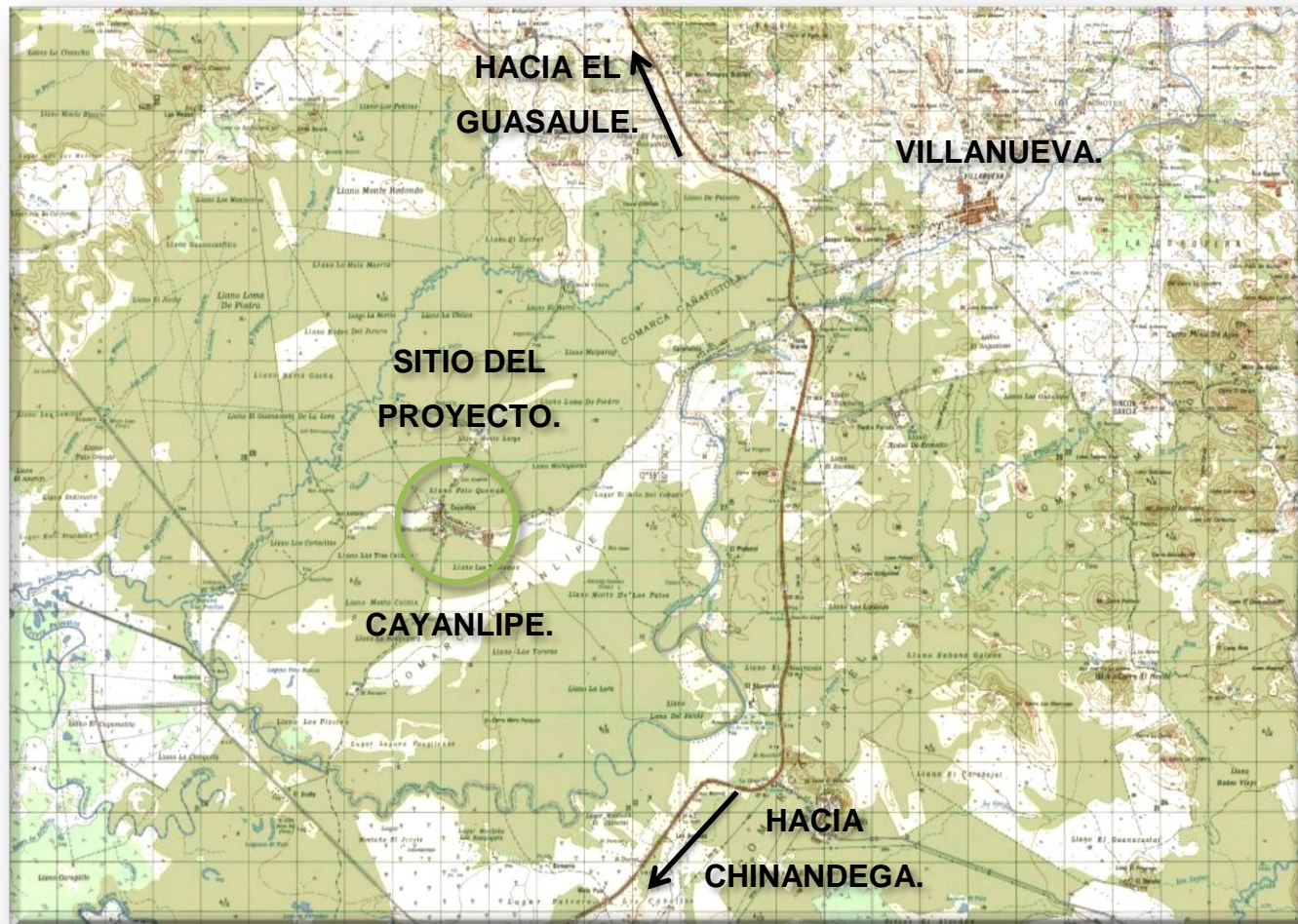
- Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes. NIC – 2000. Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- AASHTO Guide for Design of Pavement, 1986.
- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA.
- Ingeniería de Pavimentos para Carreteras Tomo I. Alfonso Montejo Fonseca, 1998.
- Documentos “Estudio de Tránsito”, Msc. Ing. Bernardo Calvo Rojas.
- Documentos “Diseño de Pavimentos Flexible”, Msc. Ing. Israel Morales Urbina.
- Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Ing. Pedro Pablo Peralta. Junio 2011.
- Revista Anuario de Aforos de Tráfico Año 2010. División de Administración Vial, Ministerio de Transporte e Infraestructura. Managua, Mayo 2011.
- Estimaciones y Proyecciones de Población Nacional, Departamental y Municipal (REVISIÓN 2007). Instituto Nacional de Información de Desarrollo. Managua, Noviembre 2007.
- Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2010, Banco Central de Nicaragua.

ANEXOS.

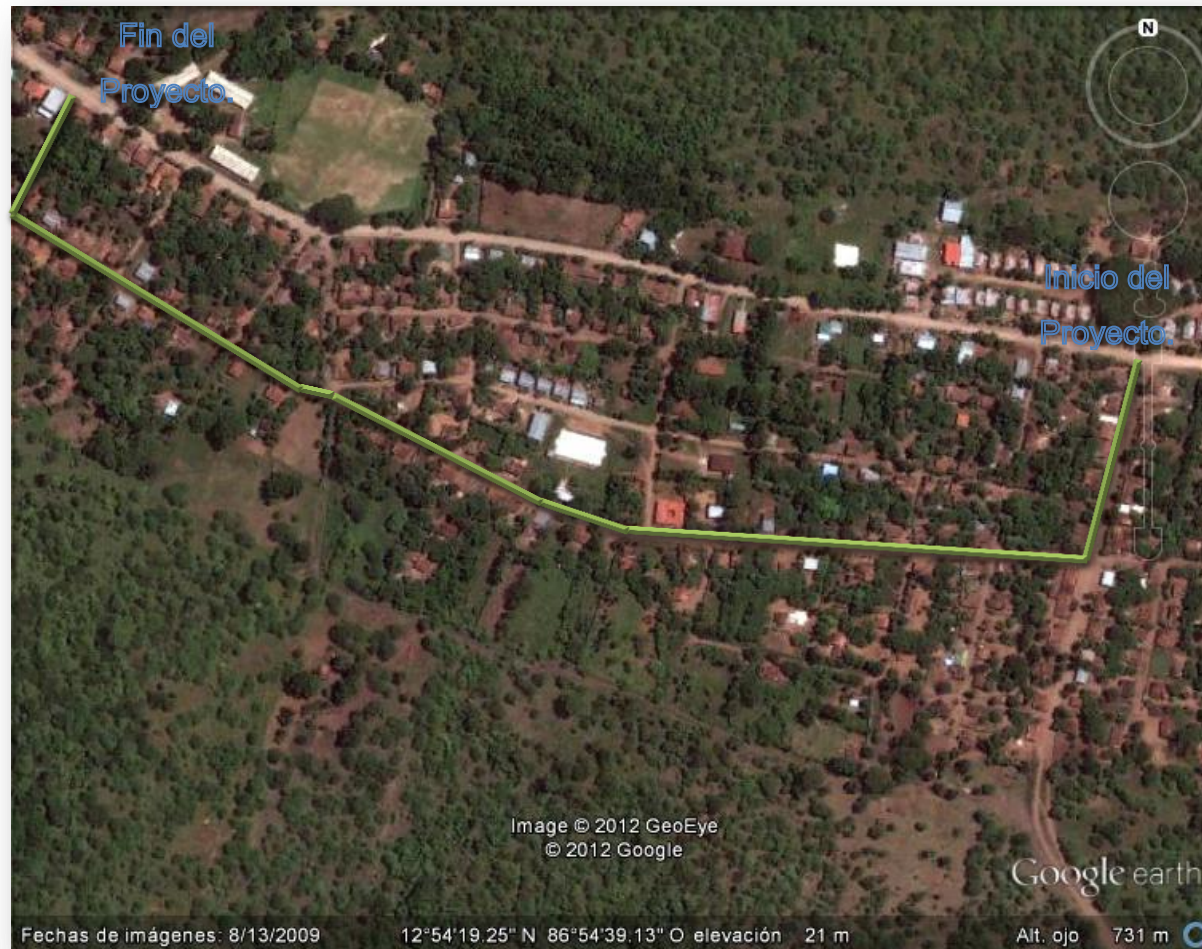
MACROLOCALIZACIÓN 1.



MACROLOCALIZACIÓN 2.



MICROLOCALIZACIÓN.



FOTOGRAFÍAS DEL SITIO.

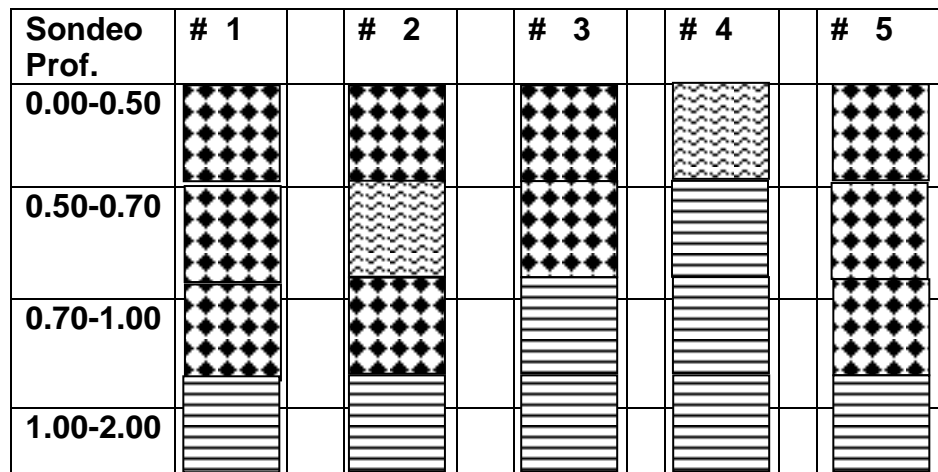


FOTOGRAFÍAS DEL SITIO.



ANEXOS CAPÍTULO I.

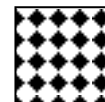
Gráfico I. 2Estratigrafía de la Vía.



Arcilla
CL - CH



Arena arcillosa
SC



Arena limosa
SM

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 7 Informe de Pruebas en el Sondeo No. 1.

UBICACIÓN: Latitud: 05 10 007

0+000 - 0+060 - 0+080

Longitud: 14 26 674

Línea Central

Profundidad	% QUE PASA EL TAMIZ						L.L.	I.P.	Clasificación.	
	½	3/8	#4	#10	#40	#200			SUCS – HRB	
0,00 - 0,28	100	80	68	59	48	21	30	5	SM	A-1b(0)
0,28-0,60	100	96	89	76	37	21	29	4	SM	A-1b(0)
0,60 - 1,00	100	95	80	66	35	19	21	2	SC	A-2-6(0)

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 8 Informe de Pruebas en el Sondeo No. 2.

UBICACIÓN: Latitud: 05 09 890

0+080 - 0+102,88 - 0+250

Longitud: 14 26 629

Banda Derecha

Profundidad	% QUE PASA EL TAMIZ						L.L.	I.P.	Clasificación.	
	½	3/8	#4	#10	#40	#200			SUCS – HRB	
0,00- 0,55	100	96	89	76	39	22	32	8	SM	A-2-4(0)
0,55-0,86	100	85	76	60	21	6	30	8	SW-SCA-2-4(0)	
0,86- 1,00	100	93	78	63	33	20	46	14	SM	A-2-7(0)

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 9 Informe de Pruebas en el Sondeo No. 3.

UBICACIÓN: Latitud: 05 09 658 0+250 - 0+360 - 0+520
 Longitud: 14 26 636 Banda Izquierda

Profundidad	% QUE PASA EL TAMIZ						L.L.	I.P.	Clasificación.	
									SUCS – HRB	
	½	3/8	#4	#10	#40	#200				
0,00- 0,10	100	100	98	91	64	35	26	6	SC-SM	A-2-4(0)
0,10-0,40	100	100	86	68	40	21	27	5	SM	A-1b(0)
0,40- 1,00	100	100	100	98	94	81	54	30	CH	A-7-6(26)

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 10 Informe de Pruebas en el Sondeo No. 4.

UBICACIÓN: Latitud: 05 09 316 0+520 - 0+720 - 0+920
 Longitud: 14 26 812 Banda Izquierda

Profundidad	% QUE PASA EL TAMIZ						L.L.	I.P.	Clasificación.	
									SUCS – HRB	
	½	3/8	#4	#10	#40	#200				
0,00- 0,13	100	100	99	94	71	39	30	12	SC	A-6(1)
0,13-0,33	100	100	100	98	81	54	31	13	CLA-6(4)	
0,33- 0,50	100	100	100	98	87	67	44	14	CL	A-7-6(12)
0,50-1,00	100	100	100	98	91	74	47	27	CL	A-7-6(19)

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 11 Informe de Pruebas en el Sondeo No. 5.

UBICACIÓN: Latitud: 05 09 230

0+920 - 1+050 - 1+060

Longitud: 14 26 926

Línea central

SUCS – HRB											
Profundidad	% QUE PASA EL TAMIZ						L.L.	I.P.	Clasificación.		
	½	3/8	#4	#10	#40	#200					
0,00- 0,30	100	100	100	95	65	35	36	9	SM	A-2-4(0)	
0,30-0,65	100	100	99	94	51	24	38	10	SM	A-2-4(0)	
0,65- 1,00	100	100	94	83	52	32	39	13	SM	A-2-6(1)	

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 12 Resumen de Capa Superficial Sondeos de Línea.

PROYECTO: ADOQUINADO EN CAYANLIPE – VILLANUEVA.

Nº de Sondeo	#1	#2	#3	#4	#5
Muestra	1	1	1	1	1
Estacionamiento	0+060	0+102.88	0+360	0+720	1+050
Nombre	Línea	Banda	Banda	Banda	Línea
	central	derecha	izquierda	izquierda	central
Profundidad	0.28 m	0.55 m	0.10 m	0.13 m	0.3 m

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 13 Granulometría.

Nº de Sondeo	#1	#2	#3	#4	#5
% Que pasa tamiz:					
¾"	100	100	100	100	100
½"	100	100	100	100	100
3/8"	80	96	100	100	100
No. 4	68	89	98	99	100
No. 10	59	76	91	94	95
No. 40 (a)	48	39	64	71	65
No. 200 (b)	21	22	35	39	35
Relación de Finos. (b) / (a)	0.44	0.56	0.55	0.55	0.54

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 14 Límites de Atterberg.

Nº de Sondeo	#1	#2	#3	#4	#5
Límite Líquido	30	32	26	30	36
Índice de Plasticidad	5	8	6	12	9

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 15 Clasificación.

Nº de Sondeo	#1	#2	#3	#4	#5
Clasificación H.R.B.	A-1b(0)	A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-6(1)	A-2-4(0)
Clasificación SUCS	SM	SM	SC-SM	SC	SM
% C.B.R EN 100%.	9	7	9	5	6

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 16 Ensayes Adicionales.

Nº de Sondeo	#1	#2	#3	#4	#5
PVSM Kg/m ³	1680	1650	1670	1610	1640
Humedad Óptima %	20	22	21	25	22

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 17 Resumen de Banco Hato Grande.

PROYECTO: ADOQUINADO EN CAYANLIPE- VILLANUEVA.

	#1	#2
Muestra	1	1
Distancia	10 km	10 km
Nombre	Banco de Hato Grande	Banco de Hato Grande
Profundidad	0,5 M	1M
Sondeo	1	2

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 18Granulometría.

% Que pasa tamiz:	#1	#2
3/4"	100	100
1/2"	86	81
3/8"	78	73
No. 4	57	62
No. 10	46	50
No. 40 (a)	33	35
No. 200 (b)	24	26
Relación de Finos. (b)/(a)	0.73	0.74

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 19Límites de Atterberg.

Límite Líquido	23	24
Índice de Plasticidad	3	3
Contracción Lineal	0	0

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 20Clasificación.

Clasificación H.R.B.	A-1-b(0)	A-1-b (0)
Clasificación SUCS	GM	GM
% C.B.R EN 100%.	55%	58%

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 21Ensayes Adicionales.

PVSM Kg/m ³	1982	1982
Humedad Óptima %	14,5	14,5

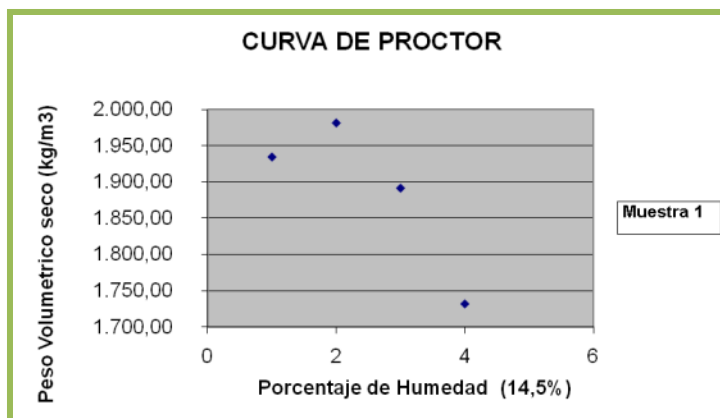
Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 22Densidad Máxima.

<p align="center">CLIENTE :Alcaldía de Villanueva</p> <p align="center">FECHA: 04-jun-11</p> <p align="center">MUESTRA N°: 1</p>						
PROYECTO:		ADOQUINADO EN CAYANLIPE				
Ubicación: Villanueva						
Peso del martillo = 5.5 lb		Caída = 12 "				
No. De capas = 3, No. De golpes por capas = 25						
Peso del cilindro = 1570 gr ; Vol. = 0.81lt 0,706						
MUESTRA: MATERIAL DE HATO GRANDE						
Peso del Material mas molde	Kg	3.043,00	3.171,00	3.187,00	3.149,00	
Peso del molde	Kg	1.570,00	1.570,00	1.570,00	1.570,00	
Peso del Mat. En el Molde	Kg	1.473,00	1.601,00	1.617,00	1.579,00	
Peso volumétrico Húmedo	Kg	2.086,40	2.267,71	2.290,37	2.236,54	
Peso Volumétrico Seco	Kg	1.934,33	1.981,28	1.891,38	1.731,74	
Tara N°		V-4	V-18	V-12	V-9	
Peso de la Tara + Mat. Húmedo	gr	34,00	33,00	38,50	26,90	
Peso de la Tara + Mat. Seco	gr	32,32	30,70	33,80	23,30	
Peso del agua	gr	1,68	2,30	4,70	3,60	
Peso de la tara	gr	10,95	14,79	11,52	10,95	
Peso del Material Seco	gr	21,37	15,91	22,28	12,35	
Contenido de Humedad	%	7,9%	14,5%	21,1%	29,1%	

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Gráfico I. 3Curva de Próctor.



Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

Tabla I. 23Ensayes de Resistencia de Materiales Estabilizados con Cemento.

CLIENTE :Alcaldía de Villanueva				
FECHA: 04-jun-11				
PROYECTO: ADOQUINADO EN CAYANLIPE				
Ubicación: Villanueva				
Banco de Materiales: Hato Grande.				
Mezcla No:		1	2	3
Porcentaje de Cemento:		3	4	5
Carga (Kg)		1446	1648	1832
Límite de Ruptura	Kg/cm ²	18.05	20.57	22.86
	PSI	256.19	291.96	324.46
Tiempo de Curado	Horas	168	168	168
	Días	7	7	7
Tipo de Curado		Horno	Horno	Horno
Temperatura °C		50	50	50

Fuente: Estudio Geotécnico en Cayanlipe, Junio 2011.

ANEXOS CAPÍTULO II.

Tabla II. 4 Conteo Vehicular Día Lunes – Ambos Sentidos.

Conteo Vehicular: Día N°1, lunes 14 de noviembre de 2011 (6:00am – 6:00pm)											Total VPD
Sentido: Este – Oeste y Oeste - Este											
Hora	Motos	Autos	Jeep	Cmta	Microbus<15	Bus	Liv C-2	C-2	TxSx≥ 5	Otros	
6-7am	3	6	1	2	2	1	3	1	2	11	32
7-8 am	3	4	0	3	0	1	4	2	0	10	27
8-9 am	4	1	0	1	0	0	4	2	0	8	20
9-10 am	2	4	1	4	0	1	4	1	2	10	29
10-11 am	3	1	0	2	1	0	3	2	1	7	20
11-12 pm	2	3	0	4	1	1	3	3	0	8	25
12-1 pm	3	6	2	4	2	1	2	1	0	8	29
1-2 pm	2	2	0	1	0	0	3	1	1	8	18
2-3 pm	2	1	1	0	0	1	4	0	0	7	16
3-4 pm	3	2	1	0	0	0	4	0	0	7	17
4-5 pm	2	2	0	2	0	0	2	1	1	10	20
5-6 pm	2	2	2	2	0	2	3	0	0	9	22
Total 12 Hrs Diurno	31	34	8	25	6	8	39	14	7	103	275
Factor Nocturno *	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Factor Semana *	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Factor Temporada *	0.8	0.77	1.06	0.97	0.97	1	0.96	0.92	1	0.81	
TPD	25	27	9	25	6	9	38	13	7	84	243

Fuente: Elaboración propia de aforo vehicular.

* Tomado de Revista Anuario de Tráfico 2010 - MTI.

Tabla II. 5 Conteo Vehicular Día Miércoles – Ambos Sentidos.

Conteo Vehicular: Día N°2, Miércoles 16 de noviembre de 2011 (6:00am – 6:00pm)											Total VPD
Sentido: Este – Oeste y Oeste - Este											
Hora	Motos	Autos	Jeep	Cmta	Microbus<15	Bus	Liv C-2	C-2	TxSx≥ 5	Otros	
6-7am	3	3	0	2	0	1	3	2	0	9	23
7-8 am	2	2	1	2	1	1	4	0	1	6	20
8-9 am	1	2	0	0	1	1	2	1	0	6	14
9-10 am	1	2	0	2	0	1	1	2	0	2	11
10-11 am	3	1	1	2	0	0	3	0	0	3	13
11-12 pm	4	1	0	0	0	1	3	1	1	10	21
12-1 pm	5	3	0	2	0	1	1	2	1	5	20
1-2 pm	2	2	0	2	2	0	1	0	0	4	13
2-3 pm	1	1	1	0	0	1	3	2	2	4	15
3-4 pm	1	1	0	1	0	1	1	1	0	6	12
4-5 pm	2	2	1	0	0	0	2	0	1	5	13
5-6 pm	2	3	0	3	1	1	3	2	0	10	25
Total 12 Hrs Diurno	27	23	4	16	5	9	27	13	6	70	200
Factor Nocturno *	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Factor Semana *	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Factor Temporada *	0.8	0.77	1.06	0.97	0.97	1	0.96	0.92	1	0.81	
TPD	22	18	5	16	5	10	26	12	6	57	177

Fuente: Elaboración propia de aforo vehicular.

* Tomado de Revista Anuario de Tráfico 2010 - MTI.

Tabla II. 6 Conteo Vehicular Día Domingo – Ambos Sentidos.

Conteo Vehicular: Día N°3, Domingo 20 de noviembre de 2011 (6:00am – 6:00pm)											Total VPD
Sentido: Este – Oeste y Oeste - Este											
Hora	Motos	Autos	Jeep	Cmta	Microbus<15	Bus	Liv C-2	C-2	TxSx≥ 5	Otros	
6-7am	4	3	0	3	0	1	3	2	1	8	25
7-8 am	2	0	1	0	2	1	2	1	1	5	15
8-9 am	0	3	1	1	0	1	1	1	0	4	12
9-10 am	2	1	0	3	0	1	0	1	1	5	14
10-11 am	3	1	1	0	0	0	1	0	1	3	10
11-12 pm	3	0	0	1	1	0	1	1	0	5	12
12-1 pm	0	0	1	1	1	1	0	1	0	5	10
1-2 pm	0	1	0	2	0	1	0	1	0	6	11
2-3 pm	2	2	0	0	0	0	4	1	1	6	16
3-4 pm	3	4	1	3	1	1	2	1	1	5	22
4-5 pm	3	0	0	0	0	1	0	2	1	9	16
5-6 pm	5	3	0	0	1	1	2	2	0	7	21
Total 12 Hrs Diurno	27	18	5	14	6	9	16	14	7	68	184
Factor Nocturno *	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Factor Semana *	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Factor Temporada *	0.8	0.77	1.06	0.97	0.97	1	0.96	0.92	1	0.81	
TPD	22	14	6	14	6	10	16	13	7	56	164

Fuente: Elaboración propia de aforo vehicular.

* Tomado de Revista Anuario de Tráfico 2010 - MTI.

Tabla II. 7 TPDA Para el Tramo en Estudio.

Día	Motos	Autos	Jeep	Cmta	Microbus<15	Bus	Liv C-2	C-2	TxSx≥ 5	Otros	Total
Lunes	25	27	9	25	6	9	38	13	7	84	243
Martes	23	19	6	17	6	11	27	13	7	58	187
Miércoles	22	18	5	16	5	10	26	12	6	57	177
Jueves	23	19	6	17	6	11	27	13	7	59	188
Viernes	26	28	10	26	7	10	39	14	8	86	254
Sábado	23	15	7	15	7	11	17	14	8	59	176
Domingo	22	14	6	14	6	10	16	13	7	56	164
Total	164	140	49	130	43	72	190	92	50	459	1389
TPDA (vpd)	24	20	7	19	7	11	28	14	8	66	204
Porcentaje Por tipo de Vehículo	11.76	9.80	3.43	9.31	3.43	5.39	13.73	6.86	3.92	32.35	100

Fuente: Elaboración propia de aforo vehicular.

Tabla II.8 Períodos de Diseño según tipo de Carretera.

Períodos de diseño.	
Tipo de carretera:	Período de diseño.
Autopistas Regionales.	20 - 40 años.
Troncales Suburbanas.	15 - 30 años.
Troncales Rurales.	
Colectoras Suburbanas.	10 - 20 años.
Colectoras Rurales.	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2000.

Tabla II. 9 Factor de Distribución Direccional.

Factor de Distribución de Dirección.	
Nº de carriles en ambas direcciones.	Porcentaje de vehículos pesados en el carril de diseño FD.
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO 1993.

Tabla II. 10 Factor de Distribución por Carril.

Factor de Distribución por Carril.	
Nº de carriles en una sola dirección	fc *
1	1
2	0.8 - 1.00
3	0.6 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO 1993

* Porcentaje de camiones en el carril de diseño.

Tabla II. 11 Proyección del TPDA.

Proyección del TPDA.											
Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta	Microbus<15	Bus	Liv C-2	C-2	TxSx≥ 5	Otros	Total
2011	24	20	7	19	7	11	28	14	8	66	204
2012	25	21	7	20	7	11	29	14	8	68	210
2013	25	21	7	20	7	12	30	15	8	70	216
2014	26	22	8	21	8	12	31	15	9	72	223
2015	27	23	8	21	8	12	32	16	9	74	230
2016	28	23	8	22	8	13	32	16	9	77	236
2017	29	24	8	23	8	13	33	17	10	79	244
2018	30	25	9	23	9	14	34	17	10	81	251
2019	30	25	9	24	9	14	35	18	10	84	258
2020	31	26	9	25	9	14	37	18	10	86	266
2021	32	27	9	26	9	15	38	19	11	89	274
2022	33	28	10	26	10	15	39	19	11	91	282
2023	34	29	10	27	10	16	40	20	11	94	291
2024	35	29	10	28	10	16	41	21	12	97	300
2025	36	30	11	29	11	17	42	21	12	100	309
2026	37	31	11	30	11	17	44	22	12	103	318

Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Tabla II. 12 Tránsito de Diseño.

Tránsito de Diseño del Tramo, Cayanlipe.					
Vehículo	To (2012)	FC	fc	FD	TD
Autos	21	6788.60	1	0.5	69923
Jeep	7	6788.60	1	0.5	24473
Camioneta	20	6788.60	1	0.5	66427
Microbús< 15	7	6788.60	1	0.5	24473
Bus	11	6788.60	1	0.5	38458
Liv. C2	29	6788.60	1	0.5	97892
C2	14	6788.60	1	0.5	48946
Tx Sx ≥ 5	8	6788.60	1	0.5	27970
Otros	68	6788.60	1	0.5	230745

Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Tabla II. 13 Factores de Equivalencia de Carga del Eje para Pavimentos Flexibles. Ejes Sencillos y $P_t = 2.0$

Appendix D

D-3

Table D.1. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 2.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.002	.003	.002	.002	.002	.002
6	.009	.012	.011	.010	.009	.009
8	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	.075	.085	.090	.085	.079	.076
12	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Fuente: Guía para el Diseño de Pavimento AASHTO. Apéndice D-3.

Tabla II. 14 Factores de Equivalencia de Carga del Eje para Pavimentos Flexibles. Ejes Dobles y $P_t = 2.0$

D-4

Design of Pavement Structures

Table D.2. Axle Load Equivalency Factors For Flexible Pavements, Tandem Axles and p_t of 2.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: Guía para el Diseño de Pavimento AASHTO. Apéndice D-4.

Tabla II. 15 ESAL's de Diseño.

Esal's de Diseño						
Tipo de vehículo	Ejes			TD	Factor Esal's	Esal's de Diseño
	Partes	Peso por eje en libras	Tipo de eje			
Autos	D	2200	SIMPLE	69923	0.00038	26.57074
	T	2200	SIMPLE		0.00038	26.57074
Jeep	D	2200	SIMPLE	24473	0.00038	9.29974
	T	2200	SIMPLE		0.00038	9.29974
Camioneta	D	2200	SIMPLE	66427	0.00038	25.24226
	T	4400	SIMPLE		0.0034	225.8518
Microbús< 15	D	4400	SIMPLE	24473	0.0034	83.2082
	T	8800	SIMPLE		0.0502	1228.5446
Bus	D	11000	SIMPLE	38458	0.1265	4864.937
	T	22000	SIMPLE		2.35	90376.3
Liv. C2	D	8800	SIMPLE	97892	0.0502	4914.1784
	T	17600	SIMPLE		0.9206	90119.3752
C2	D	11000	SIMPLE	48946	0.1265	6191.669
	T	22000	SIMPLE		2.35	115023.1
Tx Sx ≥ 5	D	11000	SIMPLE	27970	0.1265	3538.205
	T	35200	TÁNDEM		1.26	35242.2
	T	35200	TÁNDEM		1.26	35242.2
TOTAL						387146.7524

Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Tabla II. 16 Correlación PIB vs TPDA. Estación Permanente 2400.

Año	2006	2007	2008	2009	2010
PIB (M - C\$)	32936.9	34136.9	35078.8	34563.4	36112
TPDA (vpd)	1489	1649	1826	1863	2831
LN PIB	10.40	10.44	10.47	10.45	10.49
LN TPDA	7.31	7.41	7.51	7.53	7.95

Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Gráfico II. 2 Correlación PIB vs TPDA. Estación Permanente 2400.

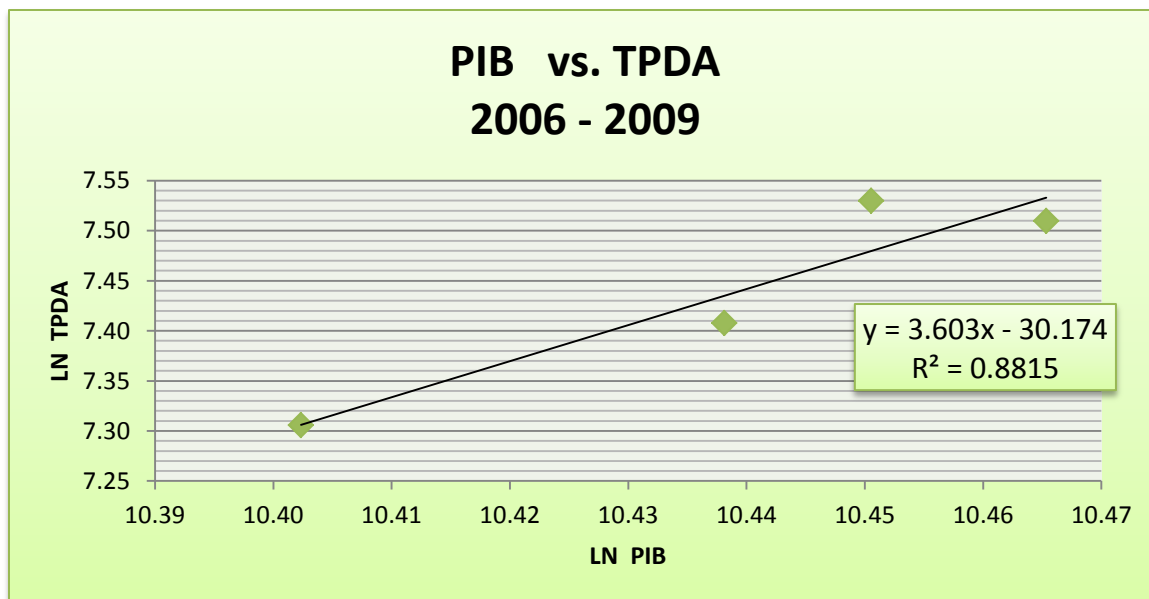
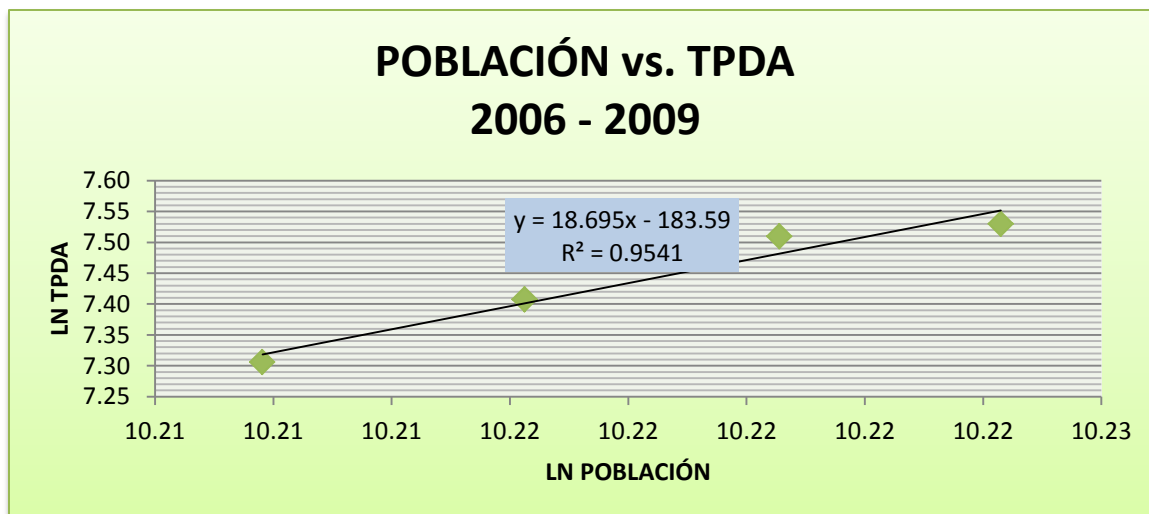


Tabla II. 17 Correlación Población vs TPDA. Estación Permanente 2400.

Año	2006	2007	2008	2009	2010
Población	27223	27344	27462	27565	27672
TPDA (vpd)	1,489	1,649	1,826	1,863	2,831
LN Población	10.21	10.22	10.22	10.22	10.23
LN TPDA	7.31	7.41	7.51	7.53	7.95

Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Gráfico II. 3 Correlación Población vs TPDA. Estación Permanente 2400.



Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Tabla II. 18 Tasas de Crecimiento IPC.

TASAS DE CRECIMIENTO IPC					
Año	2006	2007	2008	2009	2010
IPC	6.0	6.8	11.1	(3.7)	4.1
PIB per-cápita (U\$ de EUA)	947.1	1,011.9	1,024.1	1,082.1	1,126.5
Tipo de cambio promedio (C\$ x US\$)	17.6	18.4	19.4	20.3	21.4
PIB per-cápita (C\$ de Nic.)	16,669.0	18,619.0	19,867.5	21,966.6	24,107.1

Fuente: Banco Central de Nicaragua

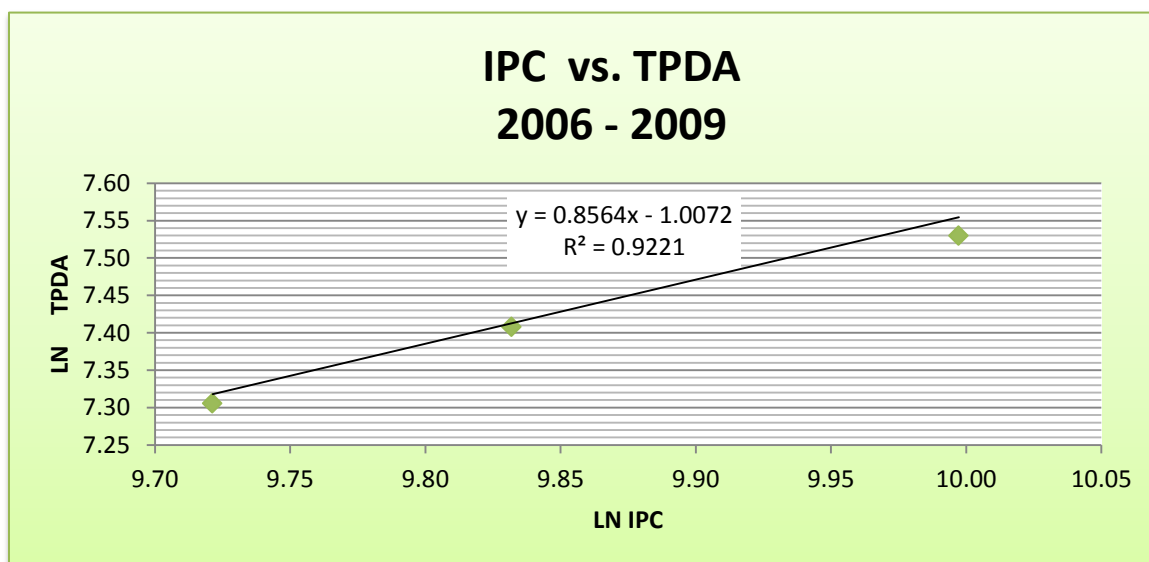
Promedio IPC (2006-2009) = 5.05

Tabla II. 19 Correlación IPC vs TPDA. Estación Permanente 2400.

Año	2006	2007	2008	2009	2010
PIB per-cápita (C\$ de Nic.)	16,669.0	18,619.0	19,867.5	21,966.6	24,107.1
TPDA (vpd)	1,489	1,649	1,826	1,863	2,831
LN IPC	9.72	9.83	9.90	10.00	10.09
LN TPDA	7.31	7.41	7.51	7.53	7.95

Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Gráfico II. 4 Correlación IPC vs TPDA. Estación Permanente 2400.



Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Tabla II. 20 Tasa de Crecimiento de Vehículos Livianos.

Periodo	LIVIANOS		
	Elasticidad IPC vs. TPDA	IPC	Tasa (%)
2010 - 2015	0.856	5.00	4.3
2016 - 2020	0.856	6.00	5.1
2021 - 2025	0.856	7.00	6.0

Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Tabla II. 21 Tasa de Crecimiento de Vehículos de Carga.

Periodo	CARGA		
	Elasticidad PIB vs. TPDA	PIB	Tasa (%)
2010 - 2015	3.603	3.00	10.8
2016 - 2020	3.603	3.50	12.6
2021 - 2025	3.603	4.00	14.4

Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Nota:

Para el cálculo de las correlaciones entre las diferentes variables, se descarta el TPDA del año 2010 (2,831 vpd) por ser considerado fuera de rango y afectaría los resultados tendiendo a un mayor valor de lo real.

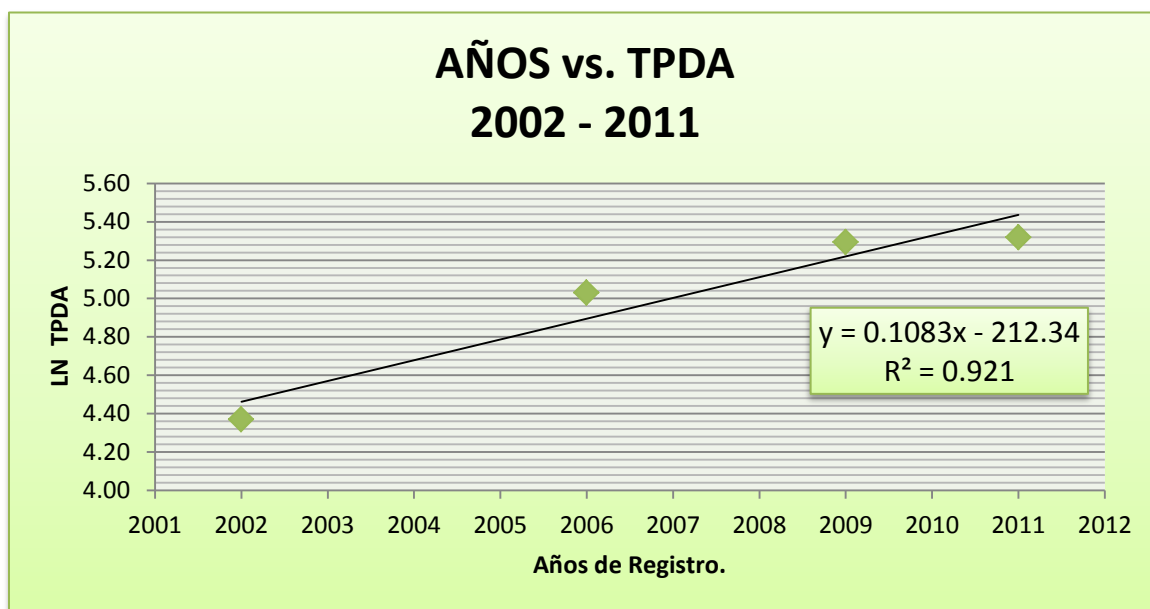
Los valores de tasa de crecimiento encontrados a partir de las correlaciones realizadas corresponden a **6.0%** para vehículos livianos y **14.4%** para vehículos de carga. Esto es válido para el crecimiento de la carretera panamericana que comunica las zonas de Chinandega y el punto fronterizo de El Güasaule; sin embargo, para la zona en estudio que es de carácter rural, no es aconsejable esperar un crecimiento tan acelerado de los vehículos. A continuación se calculan correlaciones para la estación de control sumaria número 2409 (Villanueva - Cayanlipe - Gallo Solo) que presenta datos históricos de tránsito de manera discreta. Para tales casos, en que no existen datos de manera fluida, no se recomienda el cálculo de correlaciones con variables que contienen datos continuos para encontrar tasas de crecimiento diferenciadas (vehículos livianos y de carga).

Tabla II. 22 Correlación Años vs TPDA. Estación Sumaria 2409.

ESTACIÓN SUMARIA No. 2409				
Año	2002	2006	2009	2011
TPDA (vpd)	79	153	199	204
LN TPDA	4.37	5.03	5.29	5.32

Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Gráfico II. 5 Correlación Años vs TPDA. Estación Sumaria 2409.



Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

En esta correlación, la pendiente de la recta o elasticidad es la tasa de crecimiento vehicular de **10.83%**, la cuál sigue siendo un valor elevado para una zona de Cayanlipe. Dado este inusual evento, es válido asumir un valor más ajustado a lo que la experiencia indica; una tasa general de crecimiento vehicular de **3%**.

ANEXOS CAPÍTULO III.

Tabla III. 3 Niveles de Confiabilidad.

Niveles de Confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras.		
Clasificación	Nivel de Confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas, Interestatales y otras	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras de tránsito	80 – 95	75 – 95
Carreteras Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Manual de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales (SIECA - 2001).

Tabla III. 4 Desviación Estándar So.

Condiciones de Diseño	Desvío Standard
Variación de la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34 (pavimentos rígidos)
	0.44 (pavimentos estándar)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39 (pavimentos rígidos)
	0.49 (pavimentos flexibles)

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO – 86

Tabla III. 5 Valor Percentil de Resistencia de Diseño.

Nivel de Tránsito.	Valor Percentil para Diseño de Subrasante.
< de 10, 000 ESAL's	60
Entre 10, 000 y 1, 000, 000 ESAL's	75
> de 1, 000, 000 ESAL's	87.5

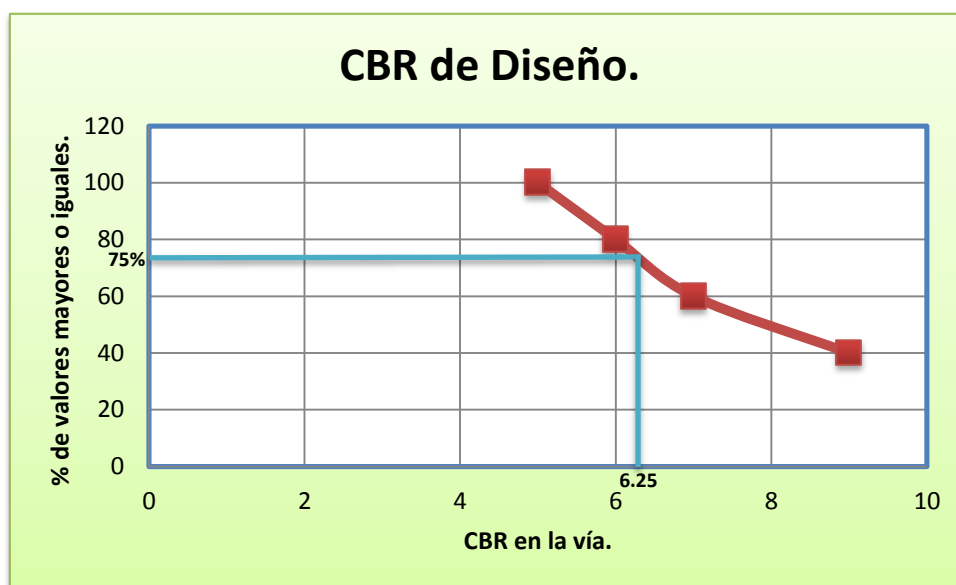
Fuente: Instituto de Asfalto, (MS – 1) 1991

Tabla III. 6 CBR de Diseño.

CBR.	Frecuencia.	No de valores mayores o iguales.	% de valores mayores o iguales.
5	1	5	100
6	1	4	80
7	1	3	60
9	2	2	40
Total	5		

Fuente: Estudio de suelos realizados para la vía en estudio

Gráfico III. 1 CBR de Diseño.



Fuente: Elaboración propia de los sustentantes.

Tabla III.7 Espesores mínimos (pulgadas) recomendados por AASHTO.

Número ESAL's	Capas Asfálticas.	Base.
Menos de 50,000	1.0	4.0
50,001 < 150,000	2.0	4.0
150,001 < 500,000	2.5	4.0
500,001 < 2,000,000	3.0	6.0
2,000,001 < 7,000,000	3.5	6.0
Más de 7,000,000	4.0	6.0

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO – 86. Pág. II-35.

Design Requirements

II-23

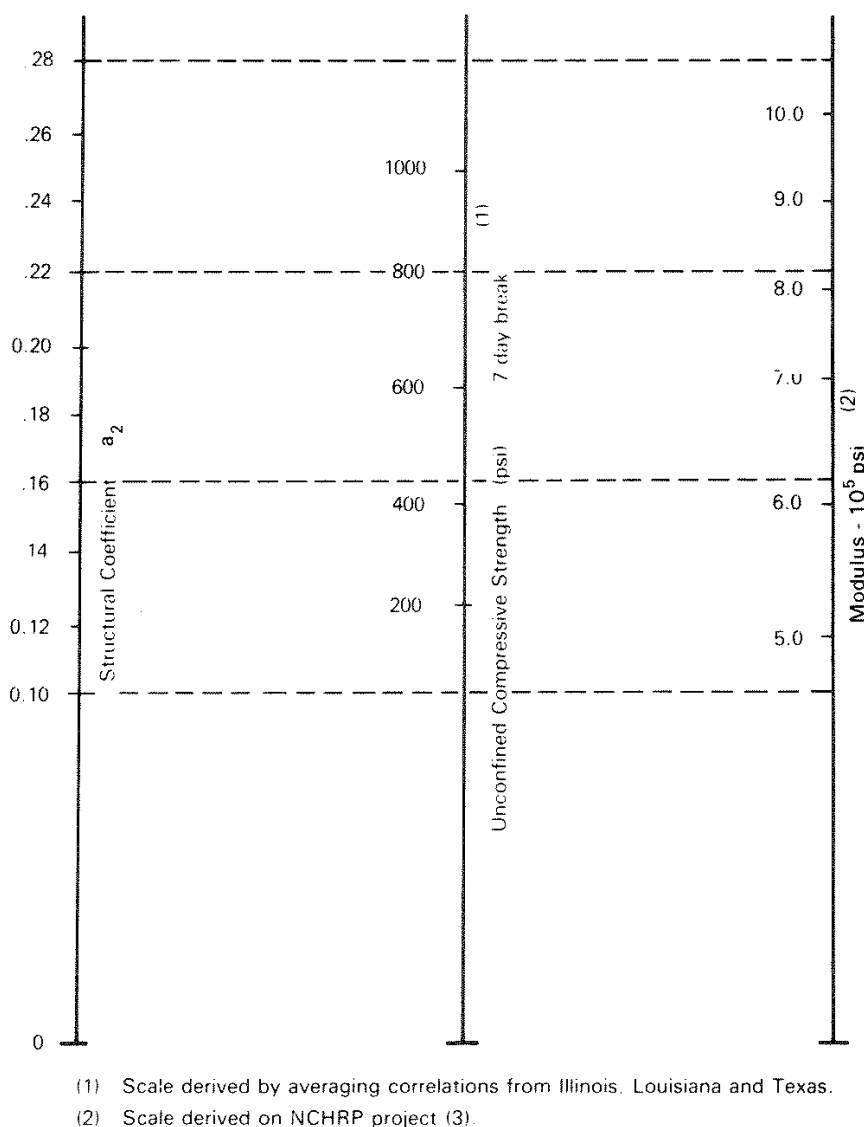


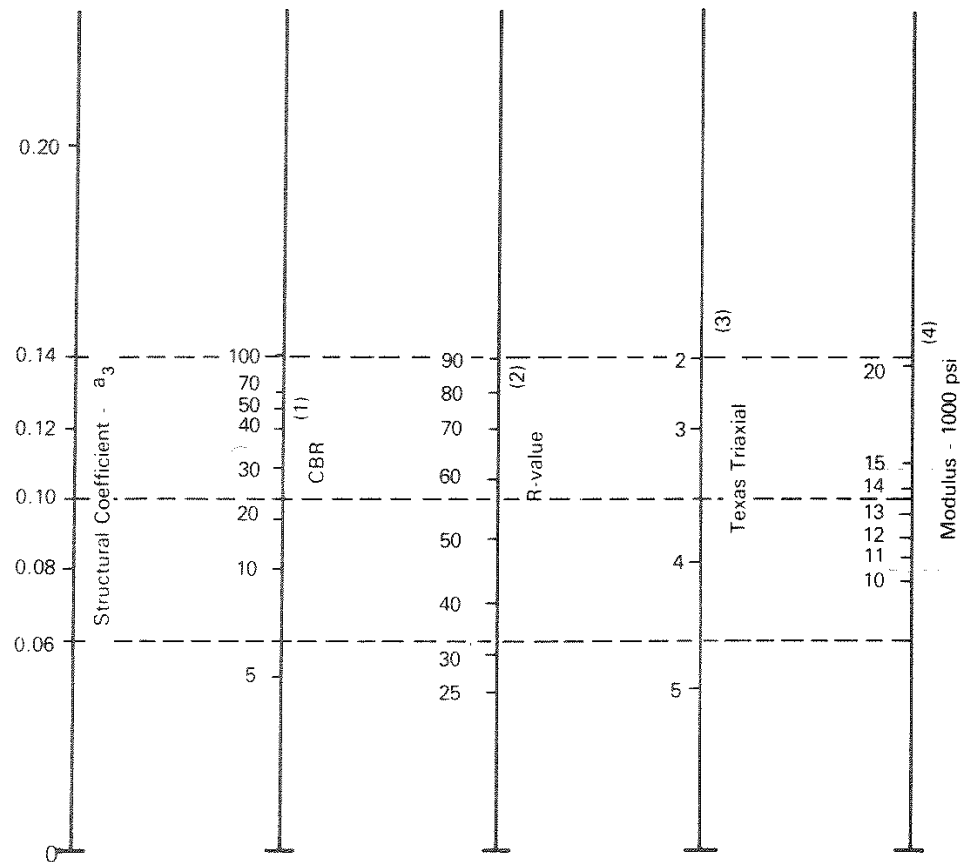
Figure 2.8. Variation in a for Cement-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO – 86. Pág. II-23.

Gráfico III. 3 Coeficiente Estructural de Capa Sub-Base Granular.

Design Requirements

II-21



- (1) Scale derived from correlations from Illinois.
- (2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived from correlations obtained from Texas.
- (4) Scale derived on NCHRP project (3).

Figure 2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient (a_3) with Various Subbase Strength Parameters (3)

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO – 86. Pág. II-21.

Gráfico III. 4Nomograma de Diseño para Estructuras de Pavimento Flexible.

II-32

Design of Pavement Structures

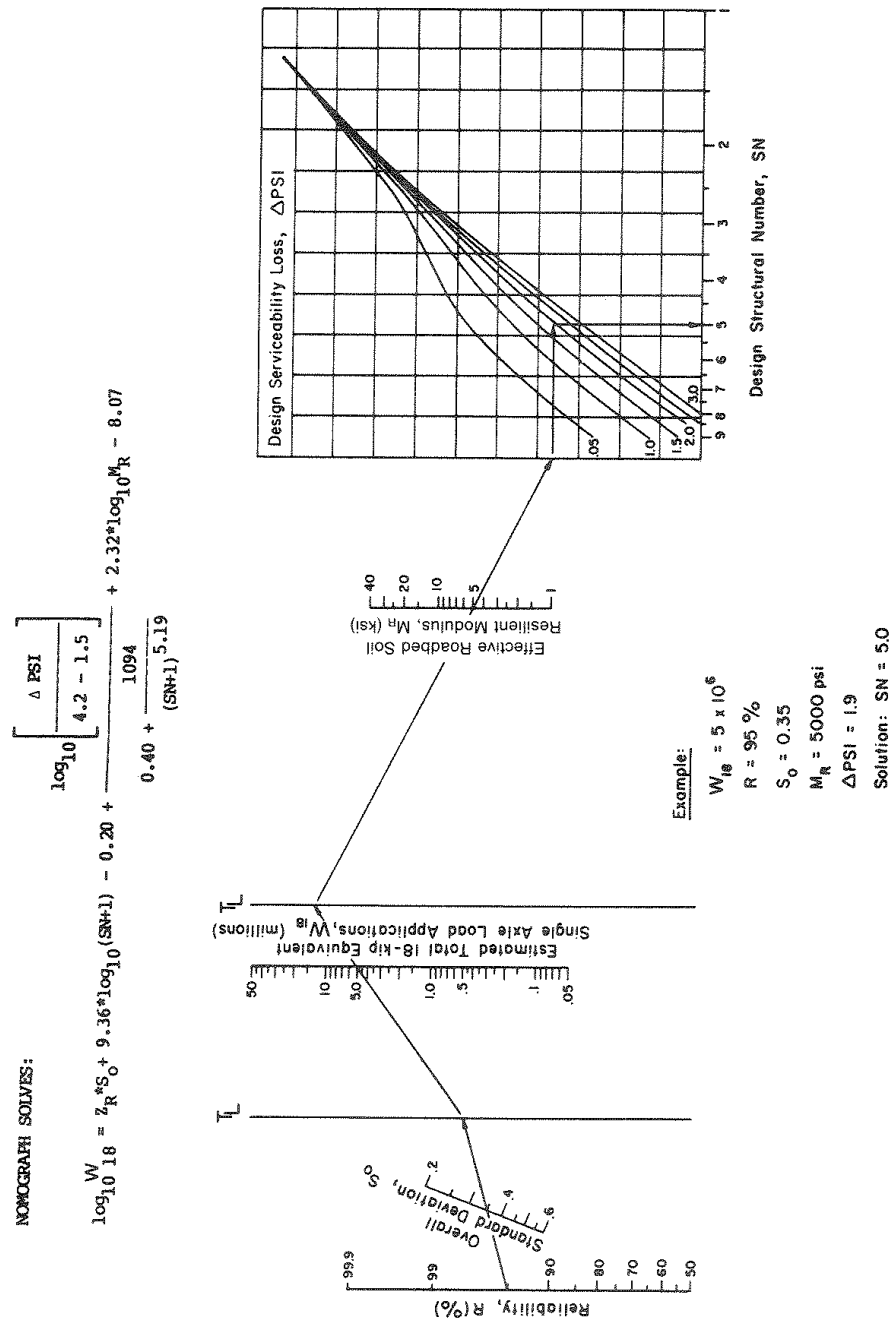
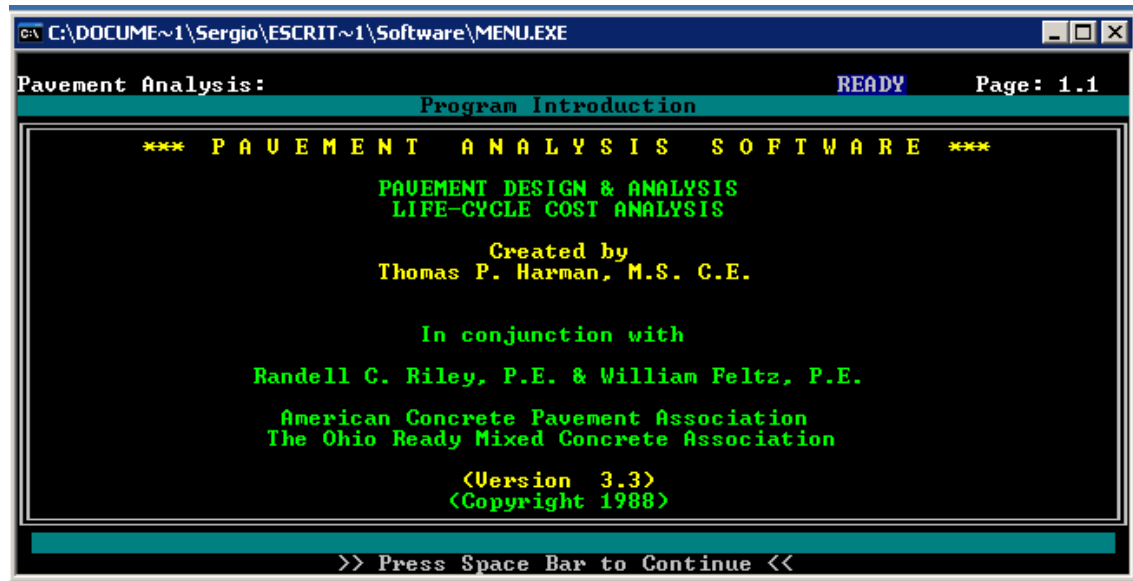


Figure 3.1. Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO – 86. Pág. II-32.

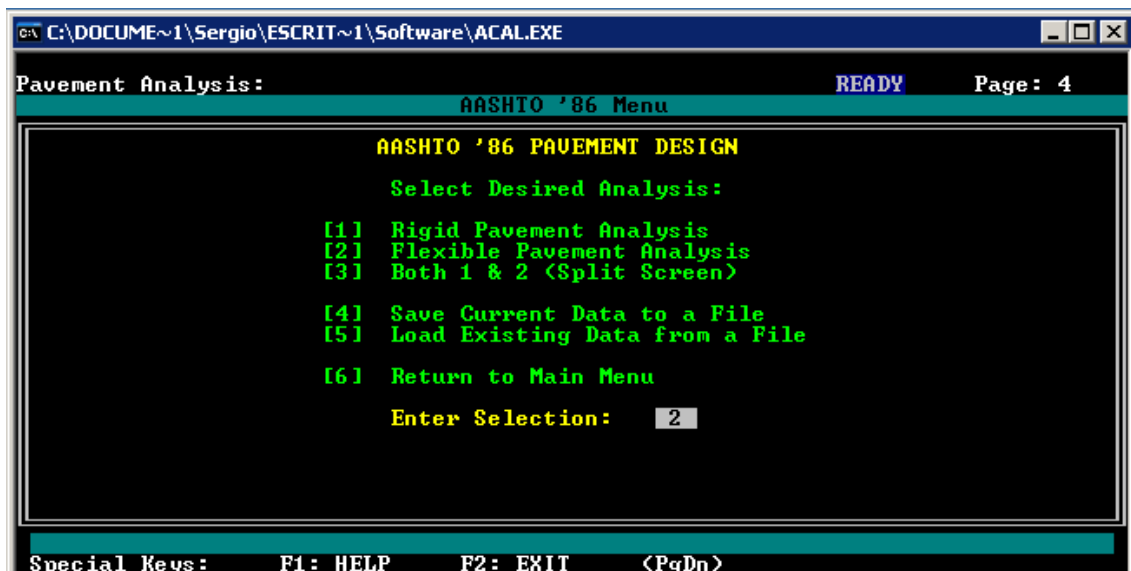
Gráfico III. 5 Procedimiento en el uso del Software “Pavement Design & Analysis Life – Cycle Cost Analysis”.

- a. Ejecutar el programa haciendo clic en el archivo MENU.EXE o bien, en el archivo ACAL.EXE que lleva directo a la opción de Diseño de Pavimentos.



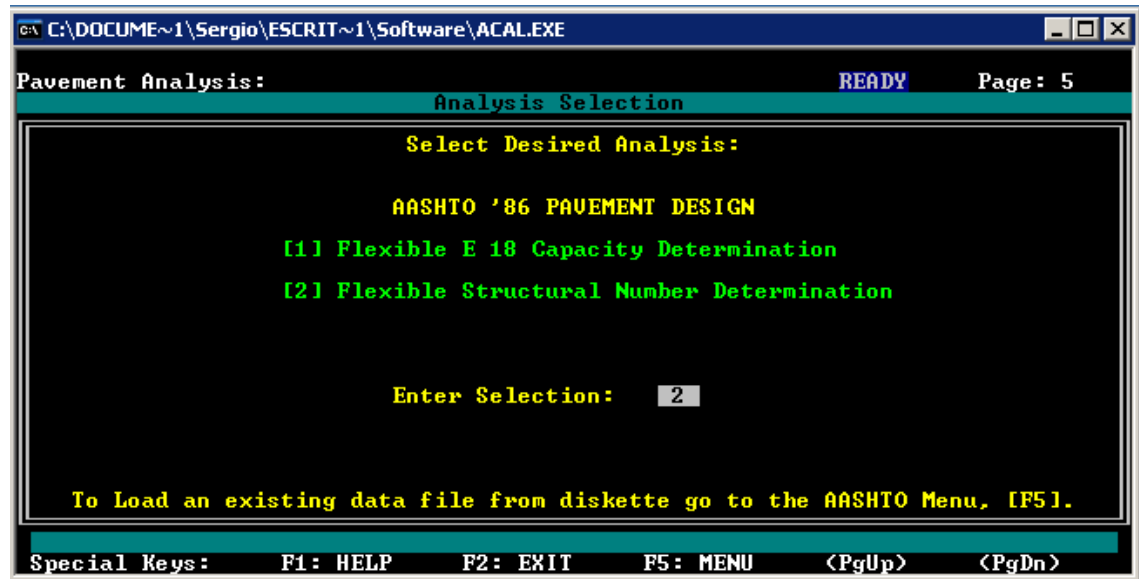
Fuente: Pavement Analysis Software, Version 3.3, 1988.

- b. Seleccionar la opción 2 (Flexible Pavement Analysis).



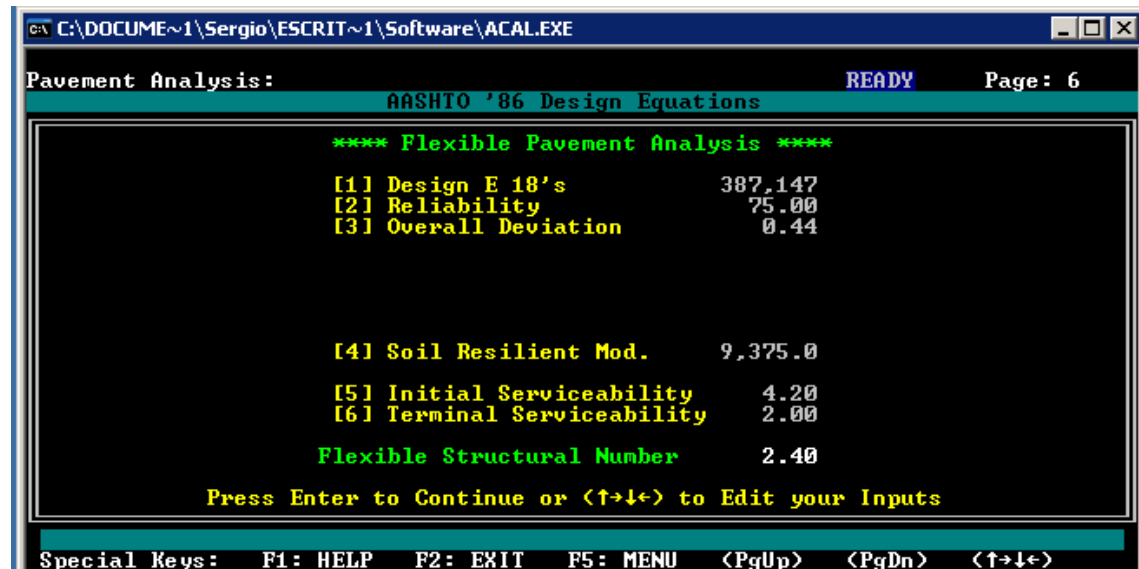
Fuente: Pavement Analysis Software, Version 3.3, 1988.

- c. Determinar el Número Estructural de Pavimento Flexible al elegir la opción 2 (Flexible Structural Number Determination).



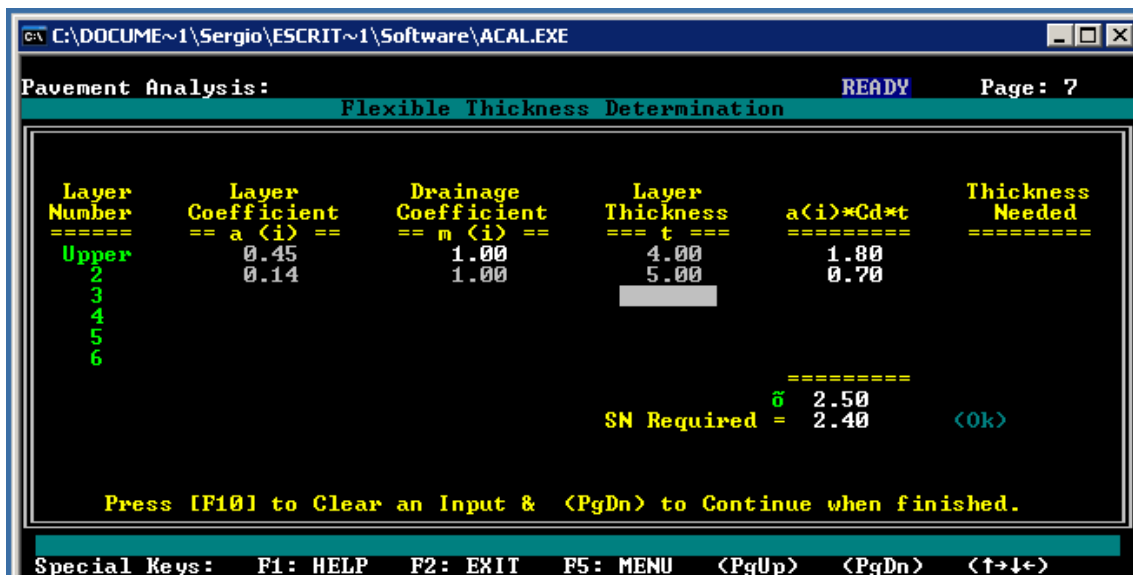
Fuente: Pavement Analysis Software, Version 3.3, 1988.

- d. Introducir los valores de los parámetros del diseño, luego presionar F10 para mostrar el número estructural requerido (Flexible Structural Number).



Fuente: Pavement Analysis Software, Version 3.3, 1988.

- e. Introducir los coeficientes estructurales, coeficientes de drenaje y espesores propuestos (pulgadas) para las diferentes capas del pavimento. Comprobar que SN Requerido sea menor al SN propuesto, de lo contrario, aumentar el espesor de las capas.



Layer Number	Layer Coefficient == a (i) ==	Drainage Coefficient == m (i) ==	Layer Thickness === t ===	a(i)*Cd*t	Thickness Needed
Upper	0.45	1.00	4.00	1.80	
2	0.14	1.00	5.00	0.70	
3					
4					
5					
6					

SN Required = 2.40 < 2.50 <Ok>

Press [F10] to Clear an Input & <PgDn> to Continue when finished.

Special Keys: F1: HELP F2: EXIT F5: MENU <PgUp> <PgDn> <↑↓←→>

Fuente: Pavement Analysis Software, Version 3.3, 1988.